

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE DEFORMACIÓN A TRAVÉS DE
ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL EN CANGAHUA**

**AUTOR:
JORGE MONEREO PÉREZ**

**DIRECTOR:
HUGO FLORENCIO TORRES MERINO**

Quito, octubre de 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, octubre 2014

Jorge Monereo Pérez

CI- 1728243120

DEDICATORIA

A mi amada esposa Tania, a mis amados hijos Mishel y Jordi, y a mis amados padres Juan José y María del Carmen.

“Tania, deliciae mea, mea vita, arcanum meum”

AGRADECIMIENTO

A todos aquellos que han contribuido académicamente a la consecución de este trabajo de grado, como el empeñoso y sinuoso recorrido de un inicio a un fin. A todos y a cada uno.

“Quod natura non dat, Salmantica non præstat”.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	7
MARCO TEÓRICO	7
1.1. Descripción de la cangahua.....	7
1.1.1. Definición de la cangahua.....	7
1.1.2. Geomorfología regional.....	8
1.1.3. Geología local (Quito)	11
1.1.4. Geología estructural (Quito).....	15
1.1.5. Geomorfología local (Quito).....	17
1.1.6. Hidrología local (Quito)	19
1.1.7. Uso del suelo local (Quito).....	20
1.1.8. Clima local (Quito)	23
1.2. Ubicación de las muestras de cangahua de la investigación	27
1.3. Características físicas de la cangahua	28
1.3.1. Relaciones volumétricas y gravimétricas	28
1.3.2. Consistencia del suelo, límites	32
1.3.3. Granulometría.....	35
1.4. Características mecánicas de la cangahua	36
1.4.1. Cohesión.....	36
1.4.2. Ángulo de fricción interna.....	36
1.5. Descripción mineralógica de la cangahua	37
CAPÍTULO 2	39
CONCEPTUALIZACIÓN DEL ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN	39
2.1. Resistencia al corte del suelo	39
2.1.1. Círculo de Mohr.....	39
2.1.2. Deformación unitaria.....	44
2.1.3. Compresión inconfínada	45
2.1.4. Ensayos edométricos (Consolidación unidimensional).....	46
2.1.5. Ensayos Triaxiales	49
2.2. Módulo de deformación	55
2.2.1. Deformaciones elásticas.....	56
2.2.2. La Ley de Hooke.....	58
2.2.3. La relación entre el esfuerzo y la deformación	60
2.2.4. Metodologías para determinación del Módulo de Elasticidad en suelos	64

CAPÍTULO 3	71
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.1. Validación estadística de los datos obtenidos: Módulo de Deformación en la cangahua. 71	
3.1.1. Validación estadística de la metodología: Módulo de Deformación de la cangahua.. 78	
3.2. Rangos del módulo de deformación de la cangahua en función del esfuerzo de confinamiento	79
3.2.1. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus esfuerzo de confinamiento	80
3.3. Comparación entre Módulos de Deformación en diferentes estados de saturación de la cangahua.....	82
3.3.1. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y Grado de Saturación	82
3.3.2. Correlaciones no paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y Grado de Saturación.....	83
3.3.3. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus Grado de Saturación	84
3.4. Relaciones entre el Módulo de Deformación y los indicadores de corte de la cangahua .. 85	
3.4.1. Correlaciones entre Módulo de Deformación de la cangahua y los indicadores de corte: cohesión y ángulo de fricción	85
3.4.2. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus indicadores de corte: cohesión y ángulo de fricción.....	86
3.4.3. Correlaciones entre Módulo de Deformación de la cangahua y el criterio de falla Mohr - Coulomb	88
3.4.4. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus criterio de falla Mohr - Coulomb	88
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES	93
LISTA DE REFERENCIAS	95
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proyecciones de población Distrito Metropolitano Quito.	2
Tabla 2. Cronología geológica del planeta Tierra y eventos hasta la formación de cangahua.	7
Tabla 3. Unidades geotécnicas Quito.	17
Tabla 4. Tipos de clima del Distrito Metropolitano de Quito.....	24
Tabla 5. Relaciones trifásicas del suelo para obtención de las Relaciones Fundamentales.....	29
Tabla 6. Clasificación según el tamaño de las partículas.	35
Tabla 7. Parámetros elásticos típicos de suelos.	62
Tabla 8. Correlaciones módulo de Young.	70
Tabla 9. Correlaciones módulo de elasticidad en condiciones drenadas.	70
Tabla 10. Correlaciones del módulo de elasticidad en condiciones no drenadas.	70
Tabla 11. Resumen del procesamiento de los casos, Módulo de Deformación de la cangahua.	71
Tabla 12. Resumen de los casos válidos, Módulo de Deformación de la cangahua.....	72
Tabla 13. Descriptivos, Módulo de Deformación de la cangahua.....	73
Tabla 14. Estimadores-M, Módulo de Deformación de la cangahua.	74
Tabla 15. Percentiles, Módulo de Deformación de la cangahua.	75
Tabla 16. Pruebas de normalidad, Módulo de Deformación de la cangahua.	76
Tabla 17. Prueba de homogeneidad de la varianza, Módulo de Deformación de la cangahua.....	76
Tabla 18. Módulo de Deformación de la cangahua a diferentes esfuerzos de confinamiento y comparación de la función hallada y la propuesta.	81
Tabla 19. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y grado de saturación.....	82
Tabla 20. Correlaciones no paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y grado de saturación.....	83
Tabla 21. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y los indicadores de corte.	85
Tabla 22. Modelos de regresión del Módulo de Deformación de la cangahua en función de la cohesión.	86
Tabla 23. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y el criterio de falla Mohr-Coulomb.	88
Tabla 24. Modelos de regresión del Módulo de Deformación de la cangahua en función del criterio de falla Mohr-Coulomb.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Densidad de población del DMQ por parroquia	3
Figura 2. Quito en La Cordillera de Los Andes.	9
Figura 3. Mapa satelital de Ecuador.....	10
Figura 4. Modelo de una columna de suelo de Quito.	11
Figura 5. Mapa geológico de Ecuador.....	13
Figura 6. Zonas de suelo.	15
Figura 7. Mapa geológico y sistema de fallas del valle de Quito.	16
Figura 8. Modelo digital de la geomorfología del área de Quito.....	18
Figura 9. Mapa geomorfológico de Ecuador.....	19
Figura 10. Crecimiento urbano de Quito 1760-2006.....	22
Figura 11. Límites altitudinales de los glaciares, bosques y páramos en el Holoceno y pleniglacial superior y medio.	23
Figura 12. Isotermas de Quito.	25
Figura 13. Distribución de la precipitación en la ciudad de Quito.	25
Figura 14. Pluviosidad promedio anual de Quito.	26
Figura 15. Pluviosidad promedio mensual del área del Proyecto.....	26
Figura 16. Ubicación de las muestras en la Av. Simón Bolívar.	27
Figura 17. Modelo trifásico del suelo.....	29
Figura 18. Clasificación de las rocas ígneas de acuerdo a la textura y la composición química.	37
Figura 19. Diagrama de Mohr para compresión Triaxial.	39
Figura 20. Plano de rotura del círculo de Mohr.....	40
Figura 21. Envolvente de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr-Coulomb.....	41
Figura 22. Plano de falla teórico de Mohr-Coulomb.....	42
Figura 23. Círculos de Mohr para los puntos de un suelo sometido a compresión inconfiada.....	45
Figura 24. Curva tipo relación de vacíos vs esfuerzo vertical, escala aritmética.	47
Figura 25. Curva tipo relación de vacíos versus esfuerzo vertical, escala semilogarítmica.	47
Figura 26. Aplicación de carga separada en dos componentes.	49
Figura 27. Esfuerzos a los que se somete la muestra UU.....	51
Figura 28. Esquema de ejemplo de saturación de un espécimen.....	52
Figura 29. Deformación elástica lineal de un suelo isotrópico.....	58
Figura 30. Gráfica relación proporcional esfuerzo vs deformación.	61
Figura 31. Gráfica idealizada esfuerzo vs deformación.	63
Figura 32. Método gráfico A, Módulo E.....	67
Figura 33. Método gráfico B, Módulo E.	67
Figura 34. Método gráfico C, Módulo E.	68
Figura 35. Método gráfico D, Módulo E.....	68
Figura 36. Método gráfico E, Módulo E.	69
Figura 37. Método gráfico F, Módulo E.	69
Figura 38. Diagrama Q-Q normal, Módulo de Deformación de la cangahua.....	77

Figura 39. Diagrama Q-Q normal sin tendencia, Módulo de Deformación de la cangahua.....	77
Figura 40. Rango del Módulo de Deformación de la cangahua en base a la media aritmética y límites de confianza.	79
Figura 41. Rango del Módulo de Deformación de la cangahua en base al promedio ponderado.....	79
Figura 42. Rango del Módulo de Deformación de la cangahua en base a las bisagras de Tukey.	80
Figura 43. Diagrama Rango del Módulo de Deformación de la cangahua.....	81
Figura 44. Diagrama de dispersión, Módulo de Deformación de la cangahua vs Grado de Saturación.	84
Figura 45. Diagrama de dispersión, Módulo de Deformación de la cangahua vs Cohesión.	86
Figura 46. Diagrama de dispersión, Módulo de Deformación de la cangahua vs Ángulo de fricción.	87
Figura 47. Diagrama de dispersión, Módulo de Deformación de la cangahua vs indicadores de corte.	87
Figura 48. Diagrama de dispersión, Módulo de Deformación de la cangahua vs criterio de falla Mohr-Coulomb	89

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	101
Anexo 1. Datos muestrales iniciales	104
<i>Anexo 1.1. Datos muestrales iniciales. Primera parte.</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 1.2. Datos muestrales iniciales. Segunda parte.</i>	<i>109</i>
Anexo 2. Casos atípicos ($\sigma_3=50$ KPa)	113
<i>Anexo 2.1. Módulo elástico medio [MPa].</i>	<i>115</i>
<i>Anexo 2.2. Esfuerzo desviador [KPa].</i>	<i>116</i>
<i>Anexo 2.3. Ángulo de fricción [°].</i>	<i>118</i>
<i>Anexo 2.4. Cohesión [KPa].</i>	<i>120</i>
<i>Anexo 2.5. Densidad seca [KN/m³].</i>	<i>122</i>
Anexo 3. Casos atípicos ($\sigma_3=100$ KPa).....	124
<i>Anexo 3.1. Módulo elástico medio [MPa].</i>	<i>125</i>
<i>Anexo 3.2. Esfuerzo desviador [KPa].</i>	<i>127</i>
<i>Anexo 3.3. Ángulo de fricción [°].</i>	<i>129</i>
<i>Anexo 3.4. Cohesión [KPa].</i>	<i>131</i>
<i>Anexo 3.5. Densidad seca [KN/m³].</i>	<i>133</i>
Anexo 4. Casos atípicos ($\sigma_3=200$ KPa).....	135
<i>Anexo 4.1. Módulo elástico medio [MPa].</i>	<i>136</i>
<i>Anexo 4.2. Esfuerzo desviador [KPa].</i>	<i>138</i>
<i>Anexo 4.3. Ángulo de fricción [°].</i>	<i>140</i>
<i>Anexo 4.4. Cohesión [KPa].</i>	<i>142</i>
<i>Anexo 4.5. Densidad seca [KN/m³].</i>	<i>144</i>
Anexo 5. Muestras excluidas	146
Anexo 6. Datos muestrales	150
<i>Anexo 6.1. Datos muestrales. Primera parte.</i>	<i>151</i>
<i>Anexo 6.2. Datos muestrales. Segunda parte.</i>	<i>153</i>
Anexo 7. Informes de ensayos Triaxiales U.U. saturado.....	155

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se corresponde con la investigación de cierto material abundante en el corredor Andino y en particular en Quito. Dicho material es conocido a nivel regional como cangahua.

En la investigación se focaliza en primer término en caracterizar someramente la cangahua desde un punto de vista de su formación y los factores circunstanciales, en términos geológicos.

Posteriormente se establece el marco de la investigación desde el enfoque de ingeniería de mecánica de suelos y se conceptualiza el área de la investigación, referido a la forma del ¿cómo?.

Desde el método estadístico se investiga los datos y se realiza cierta inferencia estadística obteniendo relaciones y rangos del Módulo de Deformación de la cangahua, para su uso en ingeniería.

Se establece una metodología para obtener el Módulo de Deformación en cualquier suelo, en este caso en la cangahua, a partir de ensayos triaxiales extensible a otros ensayos de compresión.

ABSTRACT

This research corresponds to the investigation of certain abundant material in the Andean corridor and particularly in Quito. This material is known regionally and cangahua.

In the investigation focuses primarily on briefly characterize cangahua from a viewpoint of their training and situational factors, in geological terms.

Subsequently the investigation framework is established from the perspective of engineering soil mechanics and area of research, based on shape how? conceptualized.

From the data the statistical method is investigated and some statistical inference is done by obtaining relationships and ranges Modulus of Deformation cangahua for use in engineering.

Establishing a methodology for the Modulus of Deformation in any soil, in this case the cangahua, from triaxial tests extensible to other compression tests.

INTRODUCCIÓN

La cangahua es la denominación asignada a un tipo de suelo que se encuentra frecuentemente en el corredor andino. Desde el punto de vista ingenieril es un material relacionado con las obras civiles, ya que se encuentra en fundaciones y taludes. Muy importante especialmente en las poblaciones que se encuentran sobre dicho material. De ahí se desprende la utilidad del conocimiento de las propiedades de este material y entre estas el Módulo de Deformación.

Dentro de los beneficios de este parámetro se puede resaltar, que sirve como indicador del comportamiento frente a cargas, y este entendimiento es fundamental para analizar problemas geotécnicos de las obras civiles.

En el trabajo se investiga una metodología para obtener el Módulo de Deformación de la cangahua. Se busca a través de los ensayos triaxiales en 132 especímenes y los indicadores de corte obtenidos de estos, relacionarlos con el Módulo de Deformación. También se desarrolla la investigación de la influencia del grado de saturación en el módulo.

En definitiva se busca caracterizar por varias vías investigativas las relaciones del Módulo de Deformación con otros parámetros obtenidos a partir de los ensayos triaxiales, no consolidados y sin drenaje.

Justificación

Al ser la cangahua un material el cual aflora en las obras, los taludes o fundaciones, relacionado con la Ingeniería Civil, se hace necesario un conocimiento más profundo de sus propiedades y comportamiento. En este sentido, al estar el campo investigativo sobre la cangahua todavía en estados iniciales, será adecuado el aporte de nuevas investigaciones que den luz a este fin.

La cangahua generalmente se encuentra en muchos proyectos de Ingeniería Civil en el Ecuador, y particularmente en la ciudad de Quito, donde puede tener espesores de más de 40 metros.

La investigación del módulo de elasticidad de la cangahua servirá para conocer las propiedades del material y el comportamiento elástico; tendrá una componente económica en tanto que su mejor conocimiento optimice costos en la ejecución de obras sobre este terreno ya que se obtendrá mejor seguridad respecto a los asentamientos de superestructuras, y una componente social en la protección de la población frente a riesgos y peligros latentes en las diferentes construcciones debido a una incertidumbre de las condiciones del suelo donde se establecen las mismas.

Cabe reconocer que el deterioro o la destrucción de las viviendas u obras civiles tiene efectos generales sobre las condiciones de vida de la población y sobre el desempeño económico del país o región afectada, razón por la que al analizar las propiedades de los suelos sobre los que se construye es parte de la prevención de futuros problemas.

Tabla 1. Proyecciones de población Distrito Metropolitano Quito

	SUPERFICIE Has	POBLACIÓN 2000	POBLACIÓN 2005	POBLACIÓN 2010	POBLACIÓN 2015	POBLACIÓN 2020	INCREMENTO POBLACIONAL 2000/2020	RAZÓN DE CRECIMIENTO 2000/2020	INCREMENTO POBLACIONAL 2010/2020	RAZÓN DE CRECIMIENTO 2010/2020
ZONA SUR	4931.5	136145	176531	231476	306967	411658	275513	202.37%	180182	77.84%
ZONA CENTRO SUR	3286.2	459448	470627	482755	494355	506950	47502	10.34%	24195	5.01%
ZONA CENTRO	2253.5	235676	243310	251563	260506	270219	34543	14.66%	18656	7.42%
ZONA CENTRO NORTE	4810.2	379428	415873	458706	509225	569011	189583	49.97%	110305	24.05%
ZONA NORTE	3853.3	218526	241911	269089	300690	337595	119069	54.49%	68506	25.46%
Subtotal	19134.7	1429223	1548252	1693589	1871743	2095433	666210	46.61%	401844	23.73%
SUELO URBANO Y URBANIZABLE										
ZONA CENTRO NORTE										
Nayón, Zambiza	2279.1	9693	16932	29625	51910	91095	81402	839.80%	61470	207.49%
ZONA NORTE										
Pomasqui, San Antonio, Calacalí	3196.9	47013	54769	63980	74893	87818	40805	86.80%	23838	37.26%
ZONA CALDERÓN	6120.1	77543	103603	138441	185025	247324	169781	218.95%	108883	78.65%
ZONA TUMBACO	5873.5	53715	78815	115939	170987	252875	199160	370.77%	136936	118.11%
ZONA LOS CHILLOS	7810.4	83496	115845	165049	240376	356419	272923	326.87%	191370	115.95%
ZONA AEROPUERTO	1722.0									
Subtotal	27002.0	271460	369964	513034	723191	1035531	764071	281.47%	522497	101.84%
ZONA NO URBANIZABLE										
PROTECCIÓN ECOLÓGICA QUITO	18154									
ZONA TUMBACO	2885									
ZONA CALDERÓN	4631									
ZONA SUR Parroquia Lloa	54725.1	1295	1265	1235	1207	1179	-116	-8.96%	-56	-4.53%
ZONA NORTE										
Nono, Calacalí, San Antonio	50820.3	1218	1114	1019	932	852	-366	-30.05%	-167	-16.39%
ZONA LOS CHILLOS										
Píntag, Amagüña	51712.3	14726	16396	18254	20324	22628	7902	53.66%	4374	23.96%
ZONA AEROPUERTO	60503.2	53224	65946	81963	102181	127766	74542	140.05%	45803	55.88%
DELEGACIÓN NOROCCIDENTAL	84476.1	12647	12948	13276	13634	14022	1375	10.87%	746	5.62%
DELEGACIÓN NORCENTRAL	48465.6	16546	16498	16483	16501	16551	5	0.03%	68	0.41%
Subtotal	376372.6	99656	114167	132230	154779	182998	83342	83.63%	50768	38.39%
TOTAL DMQ	422509.3	1800339	2032383	2338853	2749713	3313962	1513623	411.71%	975109	163.97%

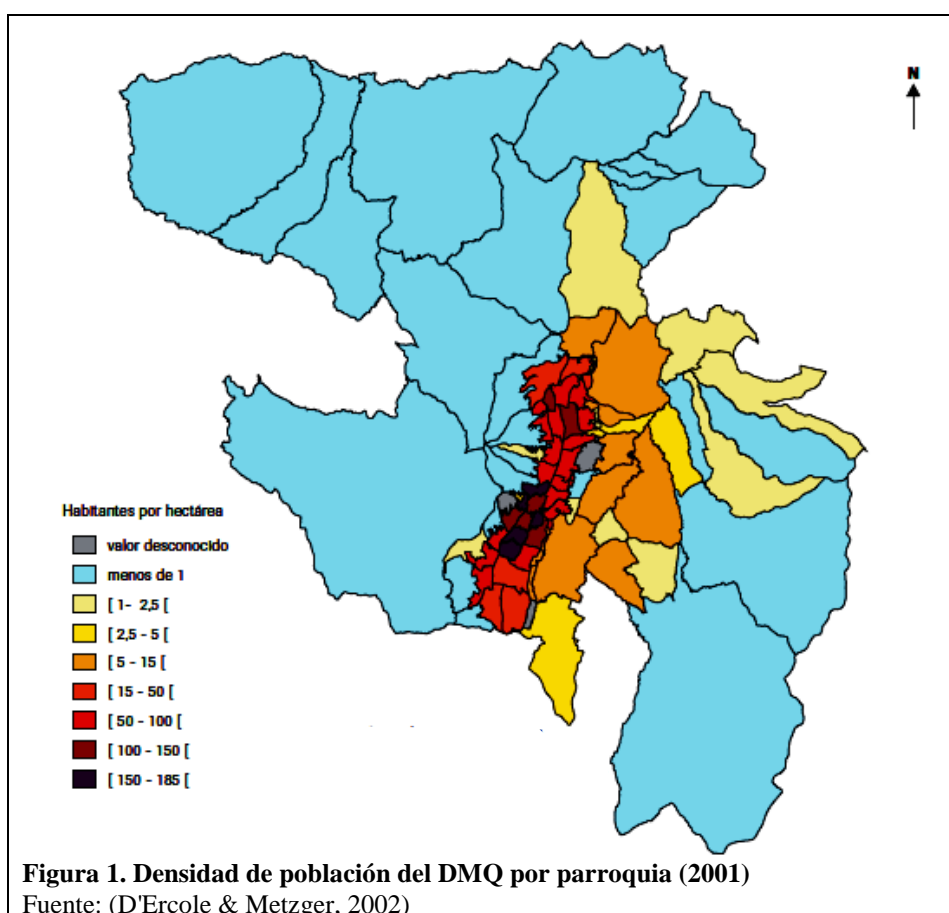
Fuente: Adaptado de la Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda, Proyecciones de Población del DMQ período 2000 - 2020.

Como se indica en la tabla 1, en el 2010 la población de Quito era 2 millones 339 mil 323 personas; un total de 3 millones 313 mil 882 personas vivirán en Quito para el año 2020, según las proyecciones realizadas por la Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda, para las proyecciones de población del DMQ, período 2000 -

2020. Esto llevará al aumento de construcciones, edificaciones urbanas, obras agua potable, alcantarillado.

Es necesario antes de realizar una edificación o cualquier tipo de proyecto, conocer los esfuerzos que actúan en el terreno, las deformaciones o asentamientos, ya que todo influye en el material, o en la construcción en sí. Cada material es diferente, cada uno posee su estructura, es decir que cada uno actúa diferente a los distintos esfuerzos que existen.

Debido al incremento de la densidad poblacional, figura 1, en la ciudad de Quito, en los próximos años se desarrollará la ciudad en altura y no en horizontal como ha sido en los últimos años. Así pues, el suelo de fundación tendrá mayor relevancia en cuanto a su estudio para determinar fallas por asentamientos y fallas por resistencia del suelo, será necesario obtener parámetros adecuados y con mayor fiabilidad.



Objetivo general

- Determinar rangos de Módulo de Deformación para la cangahua.

Objetivos específicos

- Establecer una metodología para determinar el Módulo de Deformación de la cangahua.
- Realizar análisis comparativo entre Módulos de Deformación en diferentes estados de saturación.
- Establecer relaciones empíricas entre el Módulo de Deformación y los indicadores de corte de la cangahua.

Metodología de la investigación

Se recopilará los informes de ensayos de compresión Triaxial en probetas de suelo de cangahua existentes en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana. En total se cuenta con información de ciento treinta y dos (132) especímenes de cangahua ensayados en el Laboratorio para la investigación.

De los informes de ensayo se extraerá la información principal de los mismos para la investigación, como los esfuerzos y las deformaciones experimentadas en los ensayos. De los ensayos se obtendrá la cohesión y el ángulo de fricción.

También se extraerá información de las propiedades físicas, que servirá para caracterizar desviaciones.

Toda la información se transcribirá a un modelo de informe donde vendrá recogida la síntesis de los ensayos y los parámetros necesarios para la investigación.

A la vez toda la información se tabulará para posteriormente mediante una herramienta estadística ser analizada, en función de los estadísticos descriptivos siguientes:

Como descriptivos de tendencia central se utilizará los siguientes estadísticos:

- *Media*. Suma de todos los valores de casos dividida por el número de casos.
- *Mediana*. Valor por debajo del cual se encuentra el 50 % de los casos (equivale al percentil 50). Si el número de casos es par, la mediana se calcula como el promedio de los dos casos centrales cuando éstos se encuentran ordenados. Si el número de casos es impar, la mediana es el valor del caso central de la distribución.
- *Moda*. Valor que más se repite. Si existen dos o más valores empatados en el número de repeticiones, solo se muestra el más pequeño de ellos.
- *Suma*. Suma de todos los valores.

Como descriptivos de dispersión se utilizará los siguientes estadísticos:

- *Desviación típica*. Raíz cuadrada de la varianza. Mide el grado en que los valores de los casos de la variable se alejan de su media.
- *Varianza*. Medida de dispersión que se obtiene dividiendo por $n-1$ la suma de los cuadrados de las diferencias entre cada valor del caso y la media.
- *Mínimo*. Valor más pequeño.
- *Máximo*. Valor más grande.
- *Rango*. Diferencia entre el valor más grande (máximo) y el más pequeño (mínimo).
- *Error típico de la media*. Desviación típica de la distribución muestral de la media. Se obtiene dividiendo la desviación típica de la variable por la raíz cuadrada del número de casos.

Como descriptivos de distribución se utilizará los siguientes estadísticos:

- *Asimetría*. Índice que expresa el grado de asimetría de la distribución. La asimetría positiva indica que los valores más extremos se encuentran por encima de la media. La asimetría negativa indica que los valores más extremos se encuentran por debajo de la media. Los índices de asimetría próximos a cero indican simetría.
- *Curtosis*. Índice que expresa el grado en que una distribución acumula casos en sus colas en comparación con los casos acumulados en las colas de una distribución normal con la misma varianza.

Dependiendo de las correlaciones entre los parámetros objeto de la investigación será propuesta la relación o será descartada la vía investigativa. Entre las vías principales de la investigación están las siguientes:

- Se buscará una metodología en base a un modelo de regresión del Módulo de Deformación.
- Se analizará la influencia del estado de saturación en el Módulo de Deformación correlacionándolos ambos en su caso.
- De los datos se establecerá relaciones directas o indirectas con los indicadores de corte.
- Se establecerá relaciones derivadas del Módulo de Deformación

Finalmente se buscará caracterizar el Módulo de Deformación de la cangahua, basado en criterios investigados.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción de la cangahua

1.1.1. Definición de la cangahua.

Se denomina cangahua en Ecuador a una roca sedimentaria de origen volcánico, no foliada, porosa y de baja compactación, que se encuentra en la depresión intermedia andina. Está compuesta generalmente de cuarzo y feldespato, aglomerada por calcita, arcilla y sílice.

Data del Pleistoceno Superior a Holoceno de aproximadamente diez a doce mil años atrás, es decir del 10 000 al 8 000 a. de C. En la tabla 2 se puede observar la época geológica donde se formó la cangahua.

Tabla 2. Cronología geológica del planeta Tierra y eventos hasta la formación de cangahua

Edad (años)	Eón	Era	Periodo	Época	Evento
4.500.000.000	Precámbrico	Azoica			Tierra magmática.
3.800.000.000		Arcaica			Meteoritos, formación del núcleo y generación campo magnético terrestre.
2.500.000.000		Proterozoica			Desarrollo de depósitos sedimentarios o volcánicos sobre las plataformas existentes. La tierra se congela
560.000.000	Fanerozoico	Paleozoica	Cámbrico		Gondwana.
510.000.000			Ordovícico		Glaciación al final del periodo.
438.000.000			Silúrico		
408.000.000			Devónico		Se forma Euramérica (continente de las Areniscas Rojas Antiguas).
360.000.000			Carbonífero		Glaciación sobre este de Gondwana
286.000.000			Pérmico		Súper continente Pangea
248.000.000		Mesozoica	Triásico		
213.000.000			Jurásico		Ruptura de Pangea en Gondwana y Laurasia.
144.000.000			Cretáceo		Ruptura de Gondwana.
65.000.000		Cenozoica	Terciaria	Paleoceno	Continentes como en la actualidad.
56.500.000				Eoceno	Aparecen capas de hielo en la Antártida.
35.400.000				Oligoceno	Formación de la corriente circumpolar Antártica y congelación de la Antártida
24.000.000				Mioceno	Clima moderado: orogenia en el hemisferio Norte.
5.200.000				Plioceno	Clima frío y seco.
1.600.000			Cuaternaria	Pleistoceno	Edad de Hielo
10.000		F.CANGAHUA		Holoceno	Fin de la glaciación.

Fuente: Adaptado de (Curiosidades de la Ciencia, s.f.)

La cangahua consiste en tobas alteradas, un tipo de roca ígnea volcánica, se forma principalmente por la deposición de cenizas y lapilli durante las erupciones piroclásticas, típicamente de colores amarillentos a marrones, generalmente con piedra pómez, lapilli (el lapilli es un término de clasificación de los fragmentos sólido de material volcánico según su tamaño y está constituido por fragmentos piroclásticos, expulsados por un volcán durante una erupción) y, algunas veces, flujos de lodos. Se observan, a veces, finos niveles de costras calcáreas y limonita (el término se usa para designar óxidos e hidróxidos masivos de hierro sin identificar que carecen de cristales visibles y tienen color pardo amarillento) entre planos de estratificación o rellenando grietas de desecación. Es de ambiente seco tipo estepa durante su deposición, que contrastó con la época húmeda que le antecedió. (Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas, 2008)

La cangahua es un producto volcánico, que alcanza una resistencia máxima a la compresión de aproximadamente 9Kg/cm^2 . “Tiene sedimentos volcánicos, principalmente toba. Las cenizas y arenas que constituyen estos sedimentos son semi-endurecidas, de color parduzco o grisáceo.” (Historia de la Construcción en Tierra. Arq. Patrick De Sutter). (Barquitectura, 2010)

1.1.2. Geomorfología regional.

La Cordillera de los Andes constituye una impresionante barrera montañosa de 100 a 120 kilómetros de ancho, con vertientes externas muy abruptas de alrededor de 3.500 a 4.000 metros de desnivel y con dos direcciones predominantes: NE-SO al norte de Quito y al sur de Alausí y NS en su parte central. Además, esta cordillera se caracteriza por una declinación general de las altitudes y una masividad decreciente de norte a sur. (Winckel, 1982)

En la parte norte de la frontera con Colombia hasta Alausí el paisaje general está compuesto por dos cordilleras meridianas, paralelas con altitudes medias de 4.000 a 4.500 metros separadas por la depresión intra-andina cuyas altitudes varían de 1.600 a 3.000 metros. La cordillera occidental está constituida por el

complejo volcánico cretácico en tanto que la cordillera oriental se desarrolla sobre facies metamórficas, levantadas por la orogénesis andina. Estas cordilleras están coronadas por dos filas paralelas de grandes volcanes que forman "La Avenida de los Volcanes" y culminan con el Cotopaxi, activo a 5.897 metros y el Chimborazo, apagado a 6.310 metros. De dinamismo explosivo, vulcano-estromboliano, estos estratovolcanes constituyen un verdadero museo de formas volcánicas: volcanes de cráter (Cotopaxi, Sangay, etc.) de caldera (Altar, Pululahua, etc.), de calderas sucesivas (Guagua Pichincha) o de caldera rellenada por agua (Quilotoa, Cuicocha), etc. (Winckel, 1982)



Debido a las fuertes altitudes, estas cordilleras están expuestas a acciones morfo-climáticas nivales, periglaciares y glaciares, aún más, en el Cuaternario frío durante el cual los glaciares bajaron hasta altitudes de 3.200 y 3.800 metros, según los sectores. Han dejado huellas típicas como son los valles en U, los circos glaciares separados por agujas rocosas (horn) con vertientes tapizadas de escombros, pantanos de altitudes sobre depósitos infra-glaciares, bloques erráticos, morrenas, etc. La mayoría de los edificios volcánicos se erosionaron en esta época; Quedando muchas veces en relieve, solamente las chimeneas en forma de *neck* (Iliniza, Corazón, etc.). El límite actual de las acciones periglaciares se sitúan alrededor de 4.000 metros y los glaciares se localizan únicamente sobre los volcanes más altos, llamados nevados, arriba de 4.600 - 5.000 metros (Cotopaxi, Chimborazo, Altar, etc.). Localmente se forman campos de dunas y "yardang" de altitud cuando proyecciones

arenosas están expuestas a vientos fuertes dominantes, al pie de algunos volcanes: oeste del Chimborazo, zona de Palmira. (Winckel, 1982)

La parte central de la Sierra, con un ancho casi siempre inferior a 40 kilómetros, está ocupada por una serie de cuencas deprimidas intra-andinas, con clima templado, alargadas de norte a sur, y situadas entre 1.600 y 3.000 metros (las hoyas de Quito, Latacunga, Ambato, etc.) Se trata fosas de origen tectónico rellenas con una alternancia de sedimentos fluvio-lacustres, localmente fluvio-glaciares cuaternarios (areniscas, arenas, conglomerados, arcillas) y de origen volcánico (coladas, lahares, proyecciones, cineritas, cenizas cementadas o cangahua). Las acciones combinadas de la tectónica, del volcanismo andino y de los episodios sucesivos de relleno y erosión de estas cuencas han provocado la elaboración de una serie de niveles escalonados de origen diverso, por ejemplo el horst de Quito, los niveles sobrepuestos de relleno alrededor de los ríos Guayllabamba o Pastaza, etc. El encajonamiento muy profundo de la red hidrográfica en estos depósitos como en las gargantas que atraviesan las cordilleras está totalmente desproporcionado con el escurrimiento actual. (Winckel, 1982)

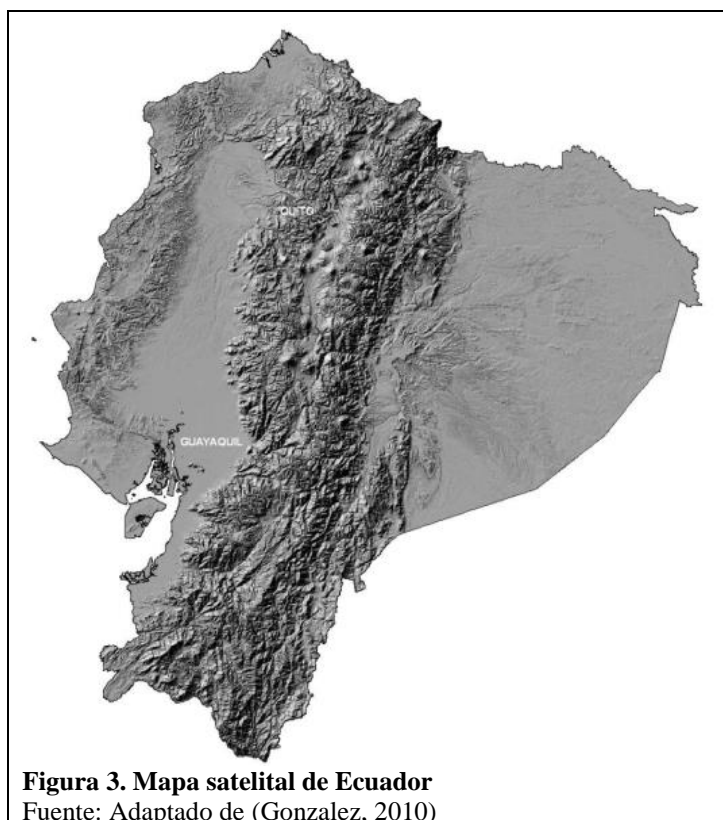
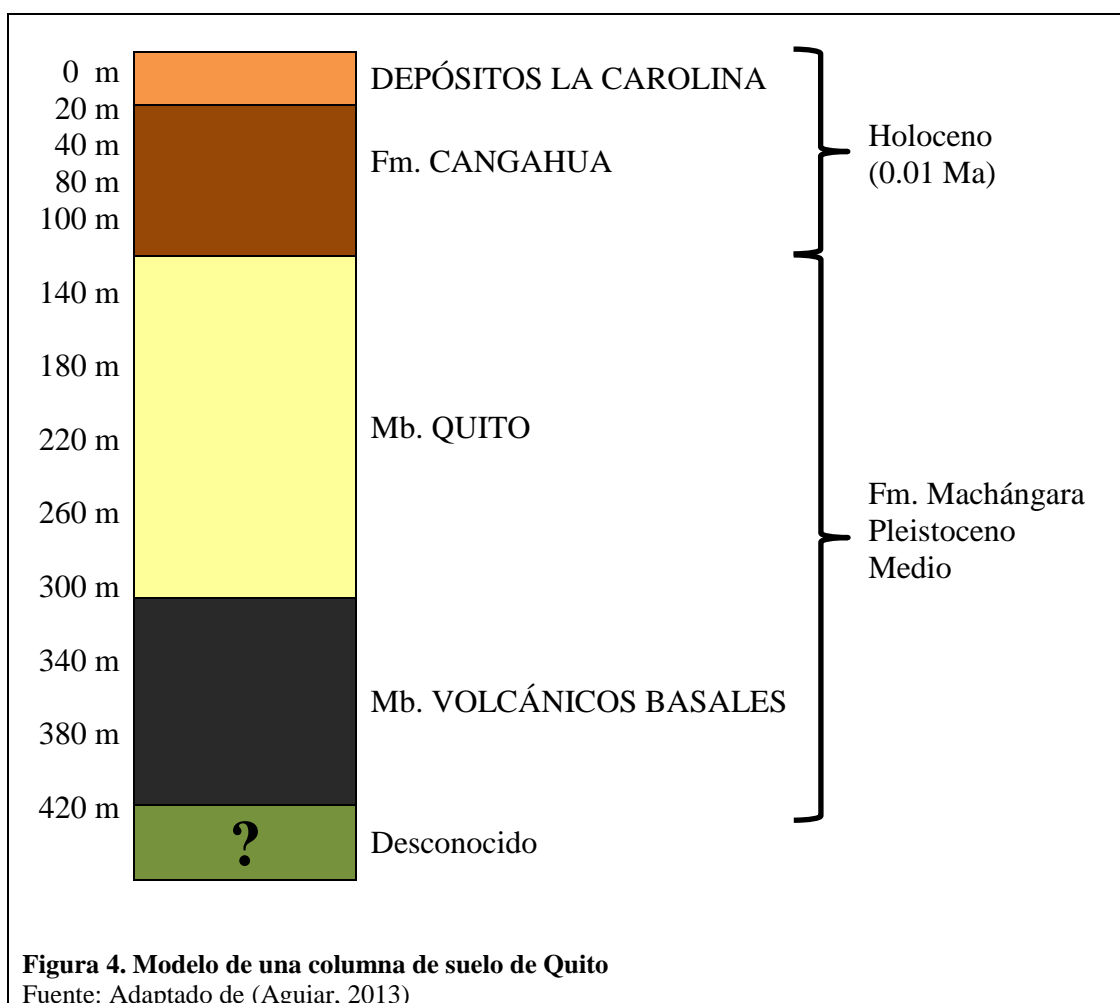


Figura 3. Mapa satelital de Ecuador
Fuente: Adaptado de (Gonzalez, 2010)

1.1.3. Geología local (Quito).

La Litología, que es la parte de la Geología que trata de las rocas: el tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas. En el corredor andino, donde se sitúa Quito, está representada por las siguientes formaciones litológicas, tal como se indica en la figura 4:



Formación Machángara: Llamados así por la Dirección General de Geología y Minas, DGGM (1977b), a las rocas que afloran a lo largo del Río Machángara, al este de Quito. Tradicionalmente fue considerada equivalente, en edad, a la Fm. Guayllabamba (DGGM 1982a), equivalente a la Fm. Pisque (Ego, Sébrier, Carey-Gailhardis, & Insergueix, 1996) o equivalentes a las Fms. Pisque y Chiche (Hibsch, Alvarado, Yepes, Sébrier, & Pérez, 1996). La evidencia de campo indica que ésta se subdivide en dos unidades: Unidad Volcánicos Basales y Unidad Fluvial “Quito”.

Miembro basal Volcánicos Basales. Está limitado solamente a la subcuenca de Quito. Uno de los mejores afloramientos se observa en la Q. El Batán. Son volcánicos primarios, que incluyen depósitos de avalanchas, flujos piroclásticos, lavas andesíticas, caídas de ceniza y pómez, caracterizándose porque hacia el techo de este miembro predominan flujos piroclásticos y las caídas de pómez y ceniza. Los fragmentos líticos de los flujos piroclásticos varían de 3-15% y corresponden en su mayoría a andesitas. La fuente estaría limitada al Complejo Volcánico Pichincha, especialmente a la actividad del Rucu Pichincha (cuya edad entre 1.32 y 0.8 Ma), así como también al Volcán Atacazo cuyas edades más jóvenes están entre 0.41 y 0.32 Ma (Hibsch, Alvarado, Yepes, Sébrier, & Pérez, 1996). Su edad es Pleistoceno Medio.

Miembro basal Unidad Fluvial “Quito”. Está limitado solamente a la subcuenca de Quito. El contacto inferior con el Mb. Volcánicos Basales es con discordancias progresivas y el contacto superior con la Fm. Cangahua es transicional, pero de hecho deben consistir sus depósitos en parte en material tipo cangahua retrabajada. El drenaje que predominó en la deposición de este Miembro fue muy inmaduro, producto de la cercanía de la fuente. Su edad es del Pleistoceno Medio. (Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas, 2008)

Formación Cangahua: Consiste de tobas alteradas, típicamente de colores amarillentos a marrones, generalmente intercalada con caídas de cenizas, pómez, paleosuelos y algunas veces, flujos de lodos y canales aluviales. En los mismos ocurren costras calcáreas y óxido de manganeso; en la parte media del depósito, se encuentran estratos de arena fina de hasta 50 centímetros de potencia, mientras que a la base de la formación, especialmente en los flancos de los complejos volcánicos Atacazo - Ninahuilca y Pichincha, se presentan coluviales de hasta 2 metros de espesor, formados por bloques de andesita, dacita y pómez dentro de matriz limo arenosa color café. Hacia el norte se incluyen los depósitos de conos aluviales que se desprenden de las estribaciones orientales del volcán Pichincha, hacia los principales drenajes que llegan a las subcuencas (quebradas Rumipamba, Rumihurcu, Grande y principalmente en el Río Machángara). (Quito, s.f.)

Depósitos La Carolina: Se trata de sedimentos caracterizados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercalados con cenizas y caídas de pómez, que se presentan en los Miembros Aluvial y Lacustre Palustre¹.

Miembro basal Aluvial. Incluye numerosos lahares, cenizas volcánicas primarias y niveles de suelos presentes en los abanicos que forman los principales drenajes de la cuenca. En cambio, hacia el eje de la cuenca se halla estrechamente relacionado con los depósitos lacustres y palustres, así como también a pequeños canales fluviales, (El Ejido, La Carolina, La Jipijapa).

Miembro basal Lacustre Palustre. Este se considera como los depósitos La Carolina ya que contiene un paquete de limos y arcillas, intercaladas con caídas de ceniza; en los registros de las perforaciones de La Carolina y El Ejido se pueden observar vestigios de paleosuelos². (Quito, s.f.)

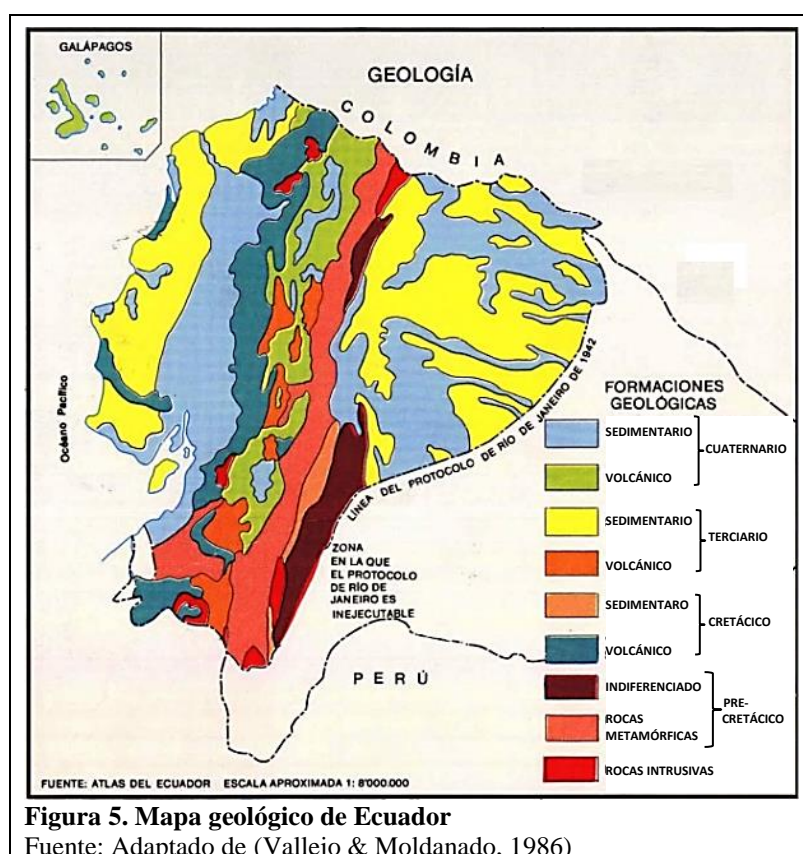


Figura 5. Mapa geológico de Ecuador

Fuente: Adaptado de (Vallejo & Moldanado, 1986)

¹ Relativo a los pantanos, lagos o lagunas.

² El término paleosuelo se aplica a un suelo que se ha formado en un paisaje del pasado.

La investigación se ha focalizado en Quito, ya que al existir poca información referente a la cangahua se pudo constatar que en 1992 se inició el proyecto denominado: “Manejo del Riesgo Sísmico para Quito- Ecuador” y el aspecto más relevante fue la obtención de 20 zonas de acuerdo al tipo de suelo, las mismas que se indican en la figura 6, donde abunda el material sujeto a investigación.

Como se observa en la figura 6 se aprecian tres zonas de suelos y son:

- Los flancos orientales del Pichincha (**f**);
- depósitos lacustres en la depresión central de la ciudad (**l**); y
- al lado este de Quito ceniza volcánica con formaciones de cangahua (**q**).

Se tienen:

- 7 zonas de tipo **f**;
- 6 zonas de tipo **l**;
- 6 zonas de tipo **q**; y
- la zona donde se encuentra el Panecillo que es de origen volcánico.

Las zonas tipo **f** están formadas por depósitos aluviales, principalmente de cangahua re TRABAJADA y cenizas volcánicas.

En la zona **l** se tiene la mayor concentración de población, y dicha zona está cubierta por suelos asentados muy probablemente sobre depósitos de cangahua.

Las zonas tipo **q** están formadas por cangahua, que en estado seco es un suelo muy duro con una gran resistencia al corte pero ante la presencia de las lluvias la cangahua es un material que pierde cohesión y es así como se producen grandes deslizamientos en Quito en el invierno.

En la figura 6 se presentan las zonas de suelo con colores, de acuerdo a la similitud de suelos que tienen. Es así, que las características de suelos de las zonas: **q1, q2, q3 y q5** son muy similares. En la zona **q4** es una cangahua recubierta con arena volcánica de poca resistencia. (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2011) (Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International, Ilustre Municipio de Quito, Orstom, Oyo Corporation, 1994)

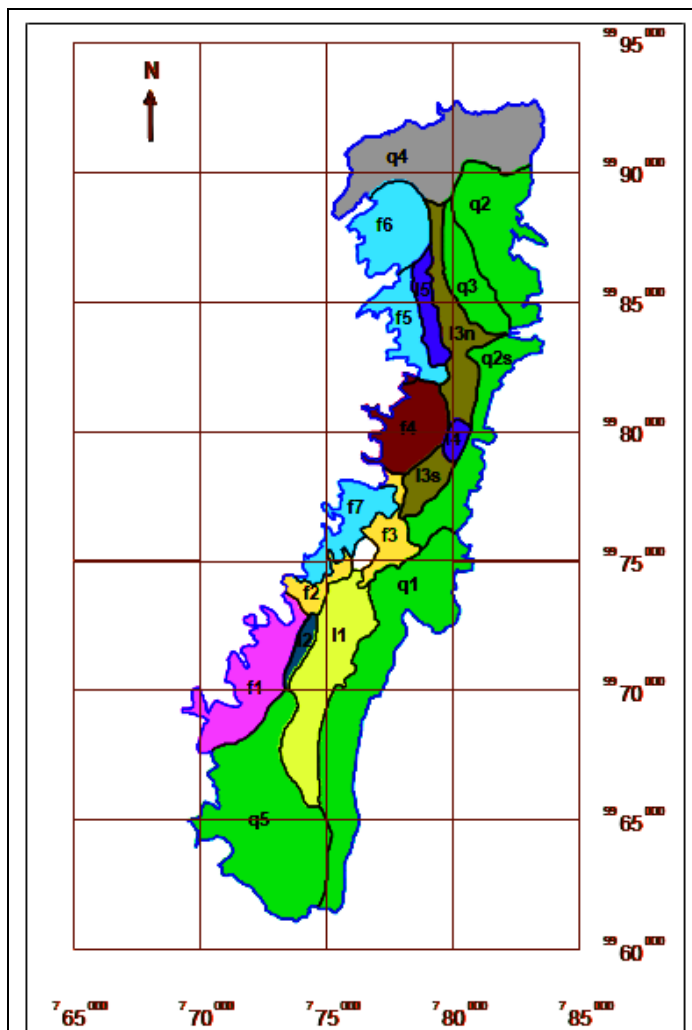
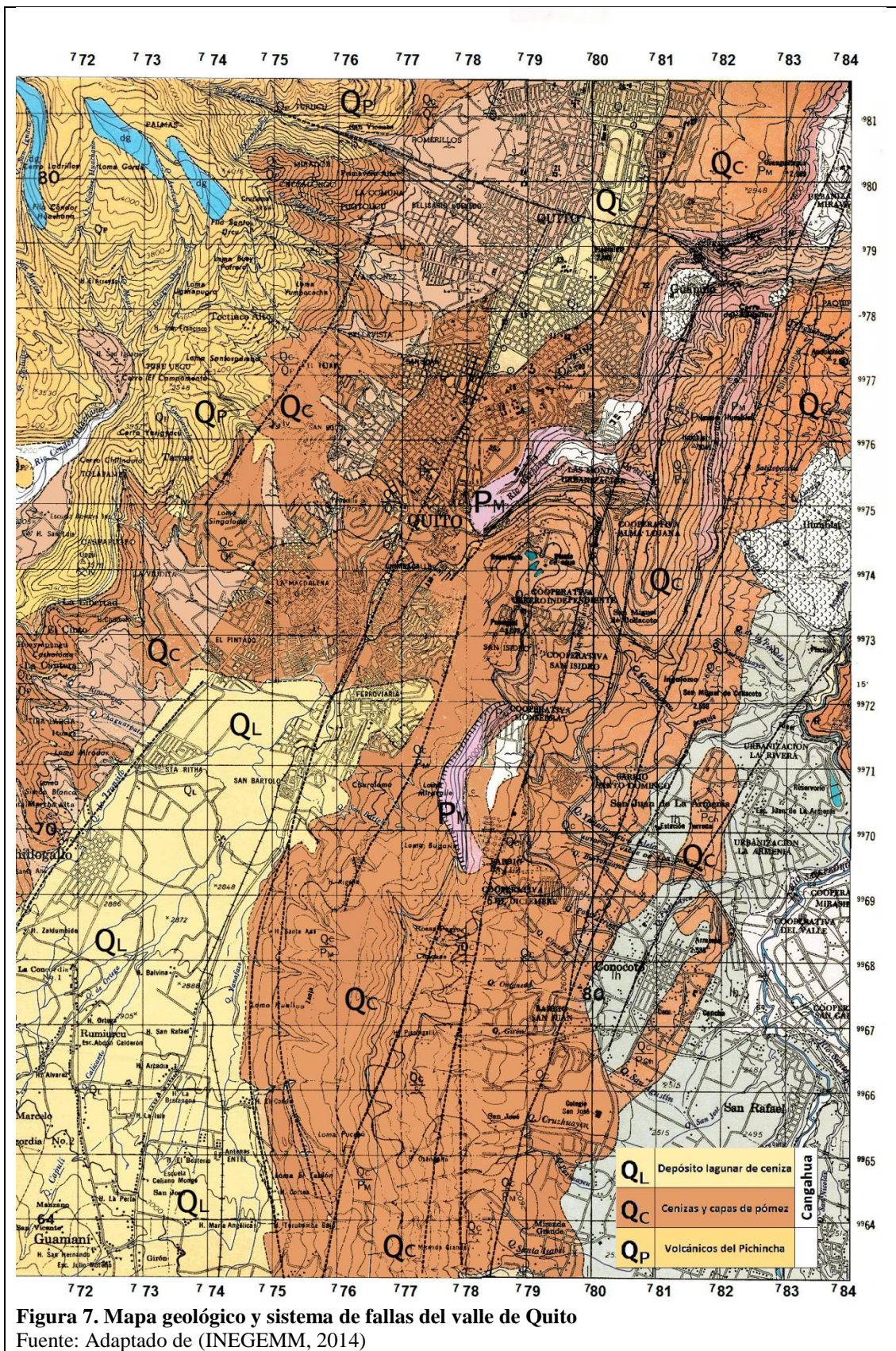


Figura 6. Zonas de suelo

Fuente: (Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International, Ilustre Municipio de Quito, Orstom, Oyo Corporation, 1994) (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2011)

1.1.4. Geología estructural (Quito).

El estudio estructural del Valle de Quito menciona que “La zona de estudio se encuentra enmarcada dentro de un ambiente tectónico activo, en el que presenta un sistema de fallas inversas asociadas a una deposición sin-tectónica observada hacia los términos de las fallas”. En la zona de estudio, se encuentran dos estructuras importantes: La falla de Quito va desde el sur por el este de Quito y termina en la segunda estructura que corresponde a una cola de caballo denominada Falla Botadero. Este conjunto de fallas genera levantamientos a lo largo de una dirección suroeste-noreste conocidos como los levantamientos de Ilumbisí-Puengasí; Batán-La Bota y Calderón-Catequilla.



Todas las evidencias indican que el sistema empezó a propagarse desde el norte en una serie de pulsos a lo largo de segmentos que colectivamente forman el Sistema de fallas activas inversas de Quito y que los levantamientos presentes en la zona son relativamente jóvenes. (Quito, s.f.)

Tabla 3. Unidades geotécnicas Quito

[illegible]

Fuente: (Quito, s.f.)

1.1.5. Geomorfología local (Quito).

La ciudad y el distrito se encuentran ubicados principalmente sobre el valle de Quito, que forma parte de la Hoya de Guayllabamba, la cual está emplazada en las faldas orientales del estratovolcán activo Pichincha, en la Cordillera Occidental de los Andes septentrionales de Ecuador, a una altitud promedio de 2800 m.s.n.m.. La urbe está delimitada por el volcán Casitagua por el norte, la Falla de Quito, por el este, las faldas orientales del Pichincha por el oeste y por el Volcán Atacazo por el sur. Sus dimensiones aproximadas son de 50 km de longitud en dirección sur-norte y 8 km de ancho de este a oeste.



Actualmente, Quito se ubica en el valle cuyo terreno irregular tiene una altitud que oscila entre los 2800 m.s.n.m. en los lugares llanos y los 3100 m.s.n.m. en los barrios más elevados.

Algunas estribaciones desprendidas de la cordillera de los Andes han formado un paisaje enclaustrado, dividido en su parte central por el cerro de El Panecillo (3035 m.s.n.m.). Al este por las lomas de Puengasí, Guanguiltagua e Itchimbía. Así como también, la principal cadena montañosa perteneciente al volcán Pichincha, el que se encuentra emplazado en la Cordillera de los Andes, encierra a la urbe hacia el oeste con sus tres diferentes elevaciones, Guagua Pichincha (4794 m.s.n.m.), Rucu Pichincha (4.698 m.s.n.m.) y Cónдор Guachana. Debido a ello la ciudad posee una forma alargada, cuyo ancho no supera los 8 km. El punto más bajo del valle se encuentra a 2680 m.s.n.m. en el Condado; mientras que el más alto es la Cima de la Libertad a 3400 msnm.

Centenas de millones de años atrás, durante el período Paleozoico, se desarrollaron las bases de lo que serían Los Andes cuando empezó la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, la que pertenecía al antiguo continente de Gondwana. La mayor actividad telúrica se registró durante el período cuaternario en la época del pleistoceno, la cual formó el paisaje accidentado de la ciudad.

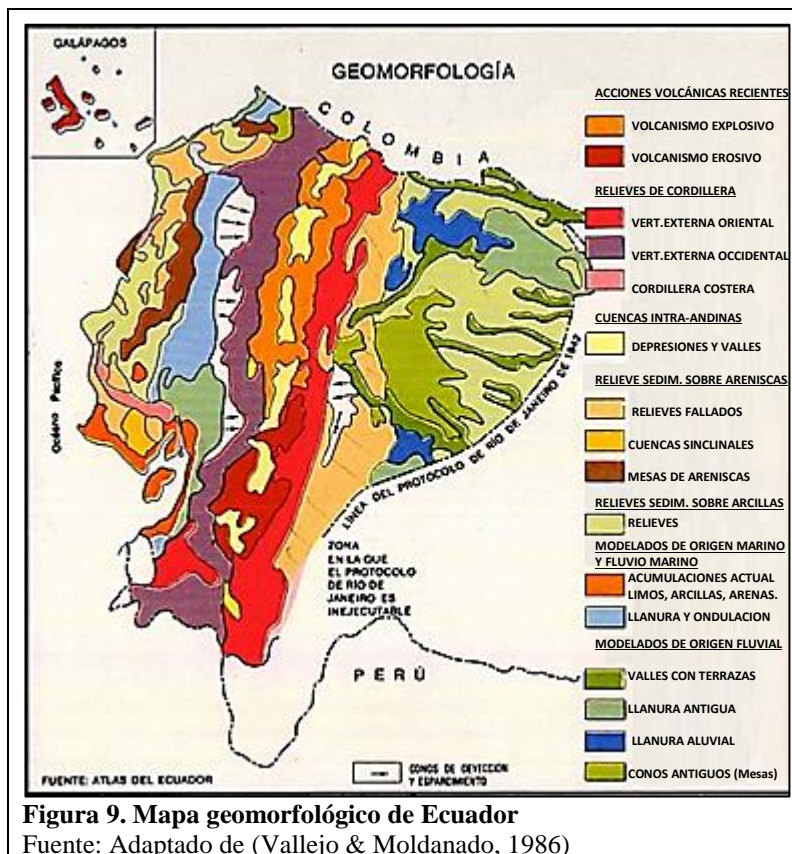


Figura 9. Mapa geomorfológico de Ecuador

Fuente: Adaptado de (Vallejo & Moldanado, 1986)

1.1.6. Hidrología local (Quito).

La mayor parte del territorio del DMQ, se encuentra en la cuenca del río Guayllabamba, que a su vez forma parte de la cuenca alta del río Esmeraldas que desemboca en el Pacífico.

El sistema hidrográfico está constituido básicamente por ríos de montaña. Los principales ríos que recorren el territorio del Distrito son: el río Machángara, que se origina en el cerro Atacazo y en su recorrido circunda la ciudad de Quito. Este río confluye con el río San Pedro a una altitud de 2 190 m.s.n.m. y da origen al río Guayllabamba. El río Monjas se origina en las laderas orientales del volcán Rucu Pichincha y desemboca en el río Guayllabamba a una altitud de 1 660 m.s.n.m., en la población de San Antonio de Pichincha. El río San Pedro nace en las estribaciones del volcán Illiniza y fluye en sentido sur norte atravesando los cantones Mejía y Rumiñahui, sin embargo, una pequeña parte de la cuenca de este río se encuentra en el DMQ. El río Pita nace en el flanco norte del volcán Cotopaxi y en los páramos del Sincholagua, es una de

las principales fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano de Quito y se encuentra en el territorio del Distrito. El sistema hidrográfico del Distrito además está conformado por los ríos Guambi, Uravia, Goyago, Pisque y Cubi que nacen en las estribaciones occidentales de la cordillera Central o Real, y son afluentes menores del río Guayllabamba. Los afluentes del río Bravía abastecen de agua potable a las parroquias orientales de Checa, Yaruquí, El Quinche y Tababela. (United Nations Environment Programme, 2013)

Al extremo septentrional el sistema hidrográfico está formado por los ríos Alambí, Pachijal, que confluyen en el río Guayllabamba. En las laderas occidentales del volcán Guagua Pichincha nace el río Cinto que se une con el río Mindo y forman el río Saloya, afluente del río Blanco, que desemboca en el río Guayllamba. (United Nations Environment Programme, 2013)

1.1.7. Uso del suelo local (Quito).

La actual configuración del área urbana del DMQ es el resultado de la interacción de dinámicas de alcance nacional, regional y local, igual al papel que se le dio a la ciudad en el periodo colonial y republicano como polo político administrativo del país, las transformaciones y continuas crisis económicas experimentadas a lo largo del tiempo, los procesos migratorios (sierra-costa, campo-ciudad e intraurbanos), y la organización espacial, social y productiva que se estructuró a nivel local, la cual ha sido condicionada históricamente por factores específicos. (Ospina, 2010)

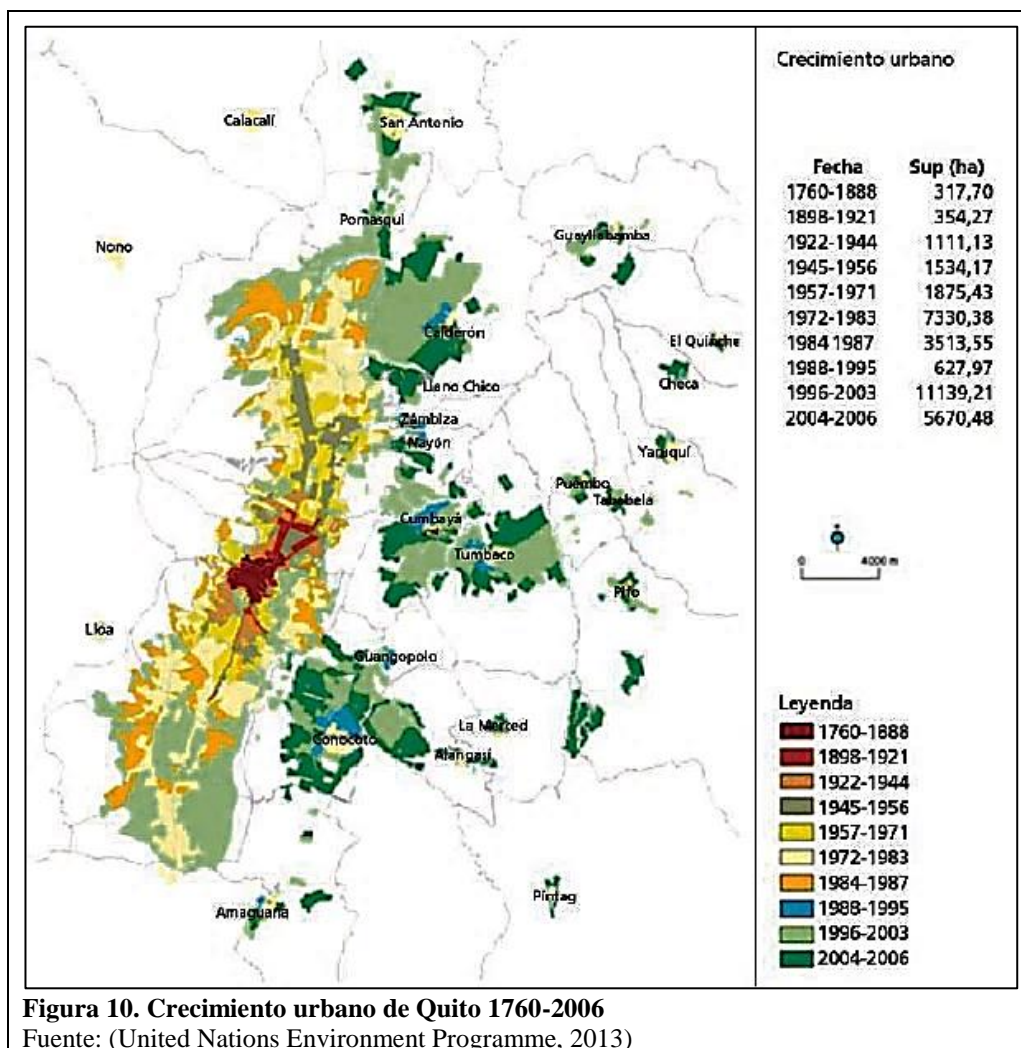
Esta articulación histórica de factores se ha estructurado espacialmente sobre un escenario territorial “conformado por un centro principal en expansión fundamentalmente al norte, una periferia urbana acondicionada en las laderas occidentales y varios centros periféricos de desarrollo, subordinados y complementarios a la dinámica del centro principal en los cinco valles colindantes con la ciudad, con características urbanas y morfológicas diferenciadas” (Carrión y Vallejo, 2002: s/p) (Ospina, 2010).

El escenario urbano varió su forma de organización pasando de “radial concéntrica, original y característica del periodo de conformación urbana que se identifica hasta inicios del siglo XIX” (Carrión y Vallejo, 2002: s/p), a una forma longitudinal que se extendió desde los albores del siglo XX hasta mediados de los años veinte como un proceso influenciado por elementos físicos del entorno y la valoración del nuevo suelo urbano (Ospina, 2010).

A partir de la década de 1930, como resultado de la crisis económica, se experimentan “procesos de especulación y segregación espacial avalados por la administración municipal, y la ciudad sobrepasa los límites tradicionales, iniciándose de esta manera, un desarticulado crecimiento de la urbe” (Córdova, 2005: 40-1). (United Nations Environment Programme, 2013)

Desde la década de los años cincuenta y hasta inicios de los años setenta, se desarrolló una forma de organización territorial caracterizada por una estructura longitudinal polinuclear en la cual se definían claramente “zonas ecológicamente diferenciadas (norte, centro y sur) en las que se expresan gérmenes de centralidad urbana” (Carrión y Vallejo, 2002: s/p). (United Nations Environment Programme, 2013)

En la primera parte de ese periodo se desarrolla un auge en el sector de la construcción que incorpora nuevas áreas urbanas, especialmente en la zona norte, lo cual se complementa con la generación de una infraestructura moderna para la ciudad (construcción de mercados y edificios públicos, vías, aeropuerto) (Carrión y Carrión, 1999; Córdova, 2005). Para la década de los años sesenta, también se advierte un auge del sector de la construcción, especialmente en planes de vivienda social (Córdova, 2005), y desde inicios de los años setenta la ciudad experimenta la antesala de una forma de organización territorial irregular dispersa. (United Nations Environment Programme, 2013)

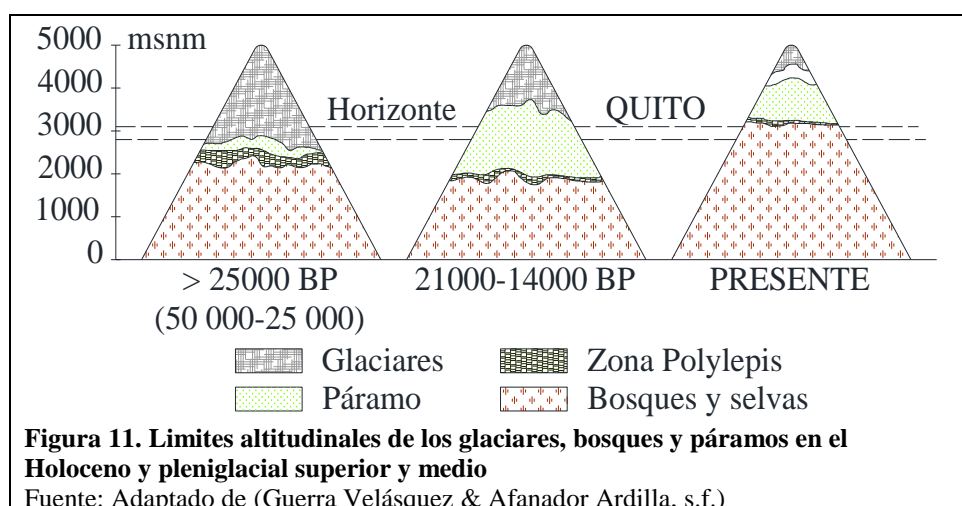


A través de la concurrencia de procesos como la “habilitación de nuevos suelos urbanos en los valles circundantes a la ciudad, la conurbación de éstos con otras municipalidades” (Carrión y Vallejo, 2002: s/p), la especulación y “escasez” provocada del suelo urbano en la zona centro norte, y la relativa saturación del área urbana del valle de Quito, el crecimiento acelerado y desarticulado de la ciudad se constituyó en una dinámica que se profundizaría aún más en las décadas de 1980 y 1990: se consolida una estructura urbana que pasa de ser longitudinal a irregular dispersa, la cual desde la zona central proyecta cinco radios hacia la periferia, a través de los valles aledaños (Carrión y Carrión, 1999). Como se ha descrito, históricamente el proceso de urbanización en Quito ha incorporado continuamente nuevas áreas a través de una combinación de mecanismos de generación de suelo de naturaleza formal, informal y marginal. (United Nations Environment Programme, 2013)

1.1.8. Clima local (Quito).

Cabe primero conocer en perspectiva global el clima, desde un punto de vista en el tiempo.

En Ecuador, el límite de glaciación es de 3000 a 3600 m. Las morrenas asociadas a la última glaciación han sido datadas entre 33 000 y 43 000 años antes del presente (Clappenon, 1987 en Schubert & Clappenon, 1990), pero morrenas pequeñas han sido datadas 14770 ± 60 años antes del presente. Es claro que la actividad volcánica complica las observaciones sobre los depósitos glaciales. (Argollo & Philippe, 1995)



El clima de la ciudad corresponde al clima subtropical de tierras altas; Quito se divide en 3 zonas; sur, centro, y norte; donde el sur es el lugar más frío de la ciudad porque es la zona más alta, el centro es caliente; donde se dan siempre las temperaturas más altas, y el norte es templado.

La ubicación geográfica y la compleja orografía montañosa donde se asienta el DMQ configuran una importante cantidad de tipos de clima en la zona. Para caracterizar tradicionalmente estos tipos de clima, se utiliza la información del régimen de precipitaciones, el valor de los máximos pluviométricos, la precipitación media anual y la temperatura media anual (DMA, 2008: 98-99). El procesamiento de estos parámetros permite

distinguir hasta quince tipos de clima que se muestran en la tabla 4. (United Nations Environment Programme, 2013)

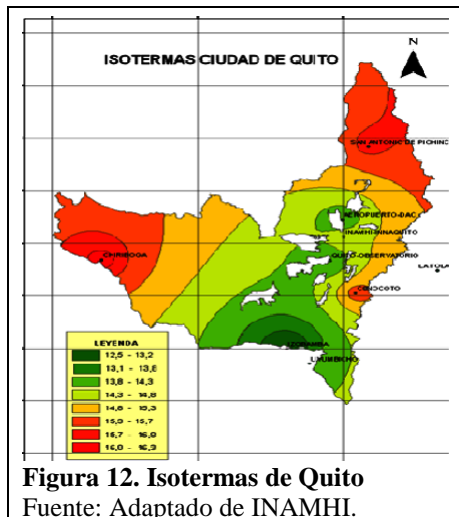
Tabla 4. Tipos de clima del Distrito Metropolitano de Quito

TIPO DE CLIMA	Área en el DMQ (%)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
Tropical lluvioso	0.8	> 3 000	> 22
Tropical megatérmico muy húmedo	0.9	2 000 - 3 000	> 22
Tropical megatérmico húmedo	0.1	1 000 - 2 000	> 22
Subtropical mesotérmico lluvioso	3.0	> 3 000	18 - 22
Subtropical mesotérmico húmedo	7.0	1 000 - 2 000	18 - 22
Subtropical mesotérmico semi-húmedo	1.1	500 - 1 000	18 - 22
Subtropical mesotérmico seco (Templado seco)	0.2	< 500	18 - 22
Ecuatorial mesotérmico muy húmedo	17.4	> 2 000	12 - 18
Ecuatorial mesotérmico húmedo	20.8	1 000 - 2 000	12 - 18
Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo	13.4	500 - 1 000	12 - 18
Ecuatorial mesotérmico seco	4.0	< 500	12 - 18
Ecuatorial frío húmedo	12.0	> 1 000	8 - 12
Ecuatorial frío semi-húmedo	3.5	500 - 1 000	8 - 12
Páramo	14.2	> 500	4 - 8
Nival	1.6	> 500	< 4

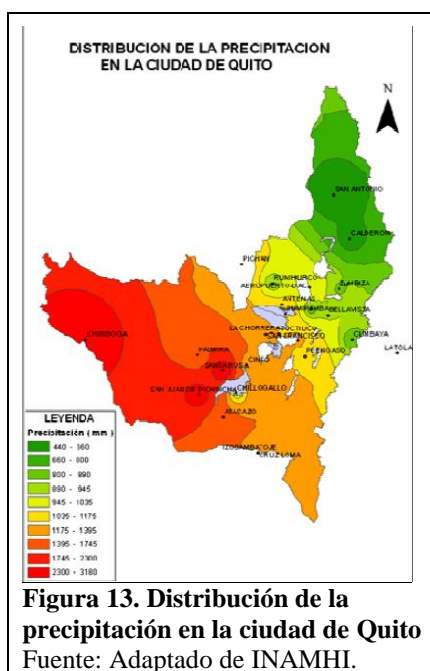
Fuente: Adaptado de (United Nations Environment Programme, 2013)

El clima de Quito se divide en 2 estaciones o etapas; una estación con un período de lluvias prolongado y otra estación seca de cuatro meses donde se presentan las temperaturas más altas. Quito siempre tiene un clima templado con temperaturas que van desde los 5 a los 27 °C.

Debido a que está a 2800 metros de altura y está ubicada en un valle cerca de la línea ecuatorial, Quito mantiene condiciones primaverales todo el año. De Mayo a Septiembre las temperaturas suelen ser más altas, sobre todo durante la tarde, mientras que el resto del año la temperatura suele ser moderada a baja. La población de Cumbayá en el Valle de Tumbaco es el lugar más cálido de la ciudad así como la mayoría de los valles que rodean a la ciudad con temperaturas que alcanzan los 30 °C al mediodía.

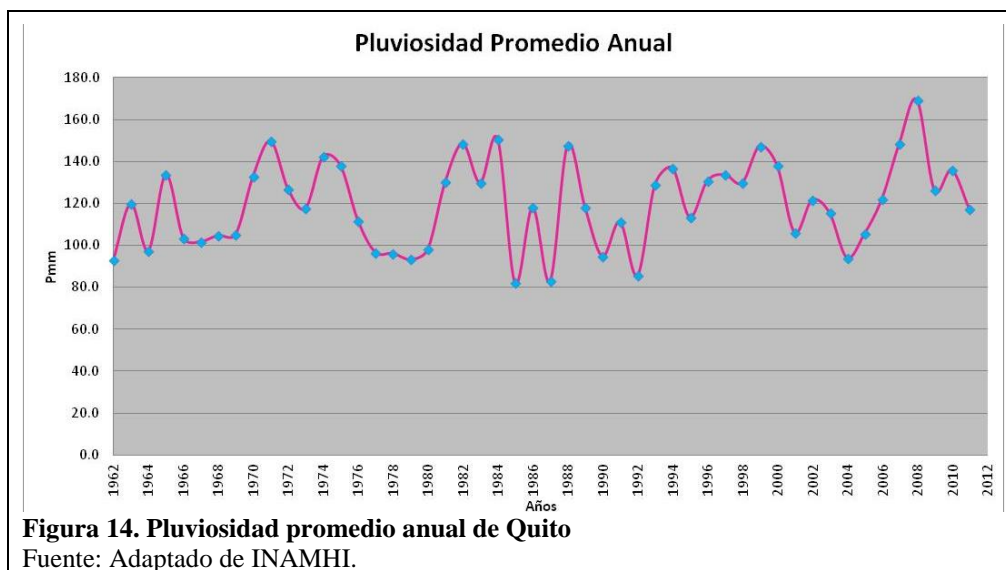


La temperatura mensual de la zona varía entre 5°C a 27 °C y presenta una humedad relativa media mensual de 79% con variaciones menores al 46%.

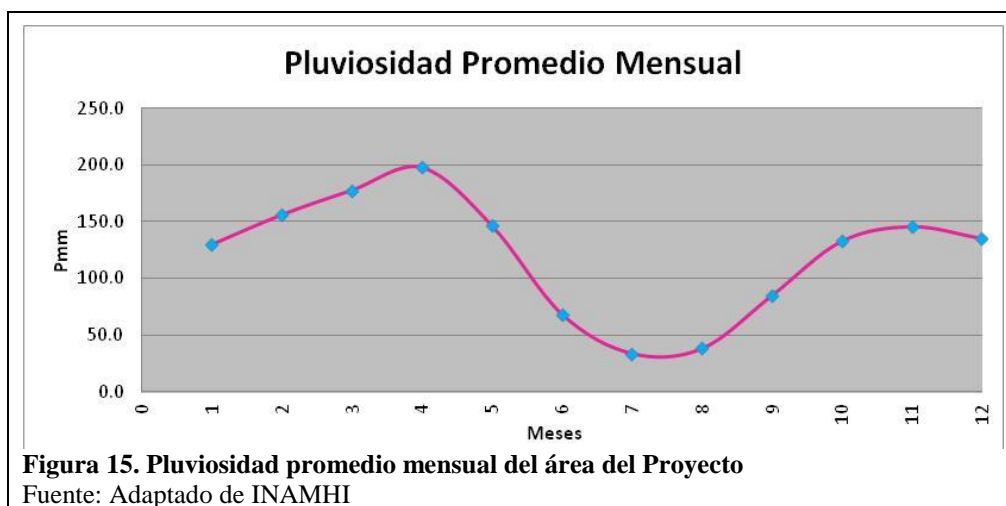


Las lluvias son persistentes entre los meses de Octubre a Abril (época invernal), meses en los que se presenta un promedio mensual de 198 mm; mientras que en época seca (mayo a septiembre), se tiene un promedio mínimo de precipitación de 34 mm/mes. La precipitación anual de la zona es de aproximadamente 1774 mm, lo cual origina la presencia de evaporación.

De acuerdo a los datos de las precipitaciones de la estación Izobamba M003 (Machachi), de donde se han recabado índices pluviométricos de la serie histórica, se tiene que dicha serie va desde el año 1962 hasta el año 2011, periodo en el cual se ha determinado que la precipitación máxima anual fue en el año 2008 con 169.3 mm y la precipitación mínima anual fue en el año de 1985 con 81.9mm. Teniendo un promedio anual de la serie de 119.6 mm, figura 14.



A continuación los datos pluviométricos mensuales, de la serie histórica desde el año de 1962 al 2012, en donde el mes de abril presenta la precipitación máxima mensual con un valor de 198 mm y en el mes de julio la precipitación mínima mensual fue de 34,0 mm, dando como resultado un promedio mensual de 120.9 mm figura 15.



1.2. Ubicación de las muestras de cangahua de la investigación

En la investigación se ha contado con 44 muestras, figura 16, con las cuales se han ensayado 132 especímenes, tres por muestra. En la figura 16 está representada la faja longitudinal de la investigación, abarcando la Av. Simón Bolívar, Tramo III desde la Autopista General Rumiñahui hasta la Av. Pedro Vicente Maldonado, considerada para el estudio.

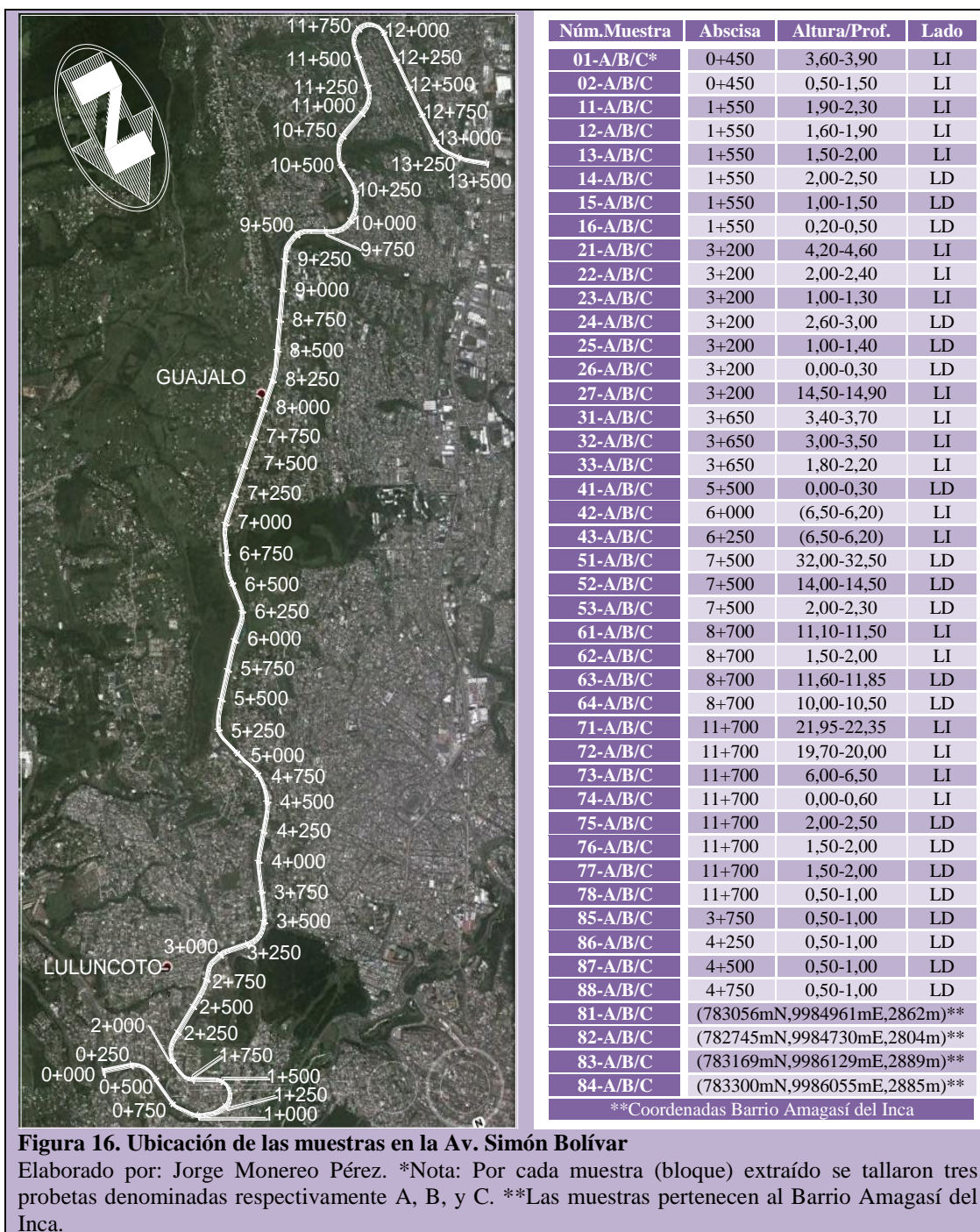


Figura 16. Ubicación de las muestras en la Av. Simón Bolívar

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. *Nota: Por cada muestra (bloque) extraído se tallaron tres probetas denominadas respectivamente A, B, y C. **Las muestras pertenecen al Barrio Amagás del Inca.

1.3. Características físicas de la cangahua

1.3.1. Relaciones volumétricas y gravimétricas.

1.3.1.1. Gravedad específica.

La norma ASTM D854-02 especifica que la *gravedad específica de sólidos del suelo*, G_s , es la relación de la masa de una unidad de volumen de los sólidos de un suelo dividido para la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas a temperatura de 20 ° C.

Ya que la relación de la masa de una unidad de volumen es la densidad, se tiene que:

$$G_s = \frac{\delta_{\text{sólidos}}}{\delta_{\text{agua}}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La expresión $\delta_{\text{agua destilada } 4^{\circ}\text{C}}$ es igual a 1 M/L^3 a una presión de 1 atm y la $\delta_{\text{agua destilada } 20^{\circ}\text{C}}$ es igual a $0.99821 \text{ M/L}^3 \approx 1 \text{ M/L}^3$, a la vez la Gravedad Específica es adimensional ya que carece de unidades.

En el caso de los suelos, la densidad se da con relación al agua destilada a una temperatura de 4°C. Tratándose de gravas o piedras, la densidad se da con relación al agua limpia a temperatura ambiente, con el material en estado de saturación.

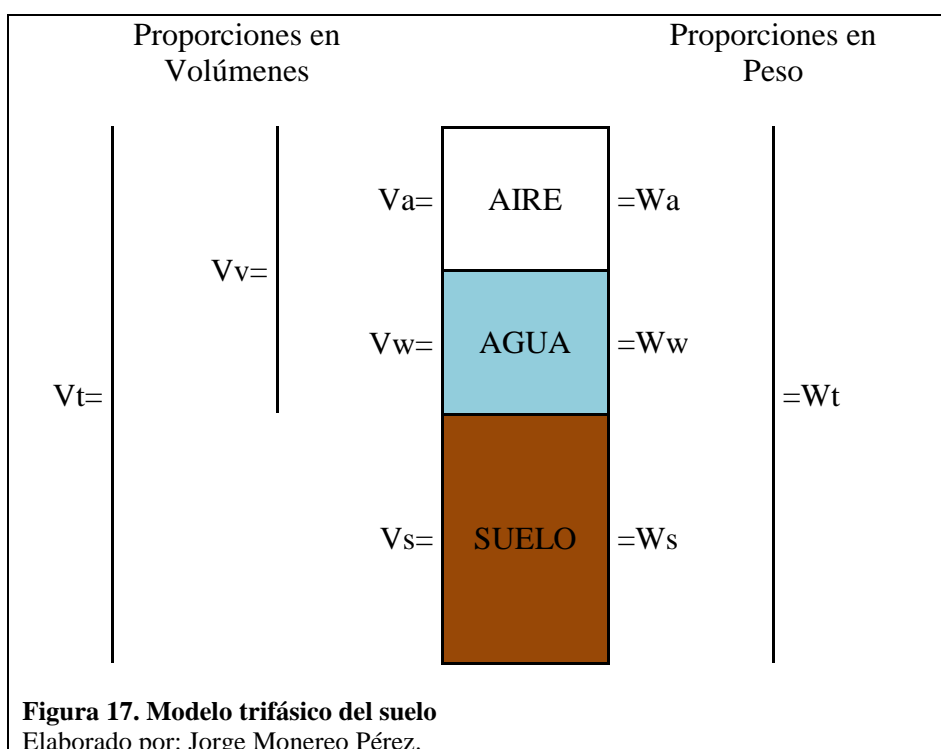
La gravedad específica de los suelos varía generalmente entre los siguientes rangos de valores:

Cenizas volcánicas-----	2.30 a 2.50
Suelos orgánicos-----	2.40 a 2.65
Arenas y gravas-----	2.65 a 2.67
Limos inorgánicos y guijarros arcillosos-----	2.67 a 2.72
Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas-----	2.72 a 2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas-----	2.78 a 2.84
Arcillas bentónicas-----	2.84 a 2.88
Cangahua-----	2.48 a 2.68

1.3.1.2. Relaciones fundamentales.

Peso unitario, $\gamma [F \cdot L^{-3}]$, peso por unidad de volumen (con este, y todas las definiciones de peso unitarios posteriores, el uso del término peso significa fuerza) ASTM D653-11.

En la figura 17 se muestra un esquema de una muestra de suelo separado en sus tres fases, y en ella se acotan los pesos y volúmenes.



Considerando un volumen de tierra que comprende tres fases (modelo trifásico): la materia sólida, el agua (que fijamos su peso unitario en la unidad) y el aire (despreciamos su peso unitario por ser su significación cercana al cero), entonces se puede expresar en la siguiente tabla sus volúmenes, pesos y pesos unitarios, para obtener las Relaciones Fundamentales:

Tabla 5. Relaciones trifásicas del suelo para obtención de las relaciones fundamentales

	VOLUMEN	PESO	PESO UNITARIO
Aire	V_A	0	0
Agua	V_w	W_w	1
Sólidos	V_s	W_s	γ_s
Suelo	V	W	γ

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Con las siguientes condiciones:

- Las unidades son escogidas de modo que

$$\frac{W_w}{V_w} = 1 = \gamma_o = \gamma_w \quad (\text{Ecuación 2})$$

- Peso unitario sólidos:

$$\frac{W_s}{V_s} = \gamma_s \quad (\gamma_s \text{ es el peso específico de la materia sólida}). \quad (\text{Ecuación 3})$$

- Peso unitario seco:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\text{Ecuación 4})$$

- Peso sumergido:

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w \quad (\text{Ecuación 5})$$

- Porosidad:

$$n = \frac{V_w + V_A}{V} = \frac{e}{1 + e} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Es una medida de la cantidad relativa de vacíos, es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo.

- Relación de vacíos:

$$e = \frac{V_w + V_A}{V_s} = \frac{n}{1 - n} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Es una medida de la cantidad relativa de vacíos, es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen seco del suelo.

- Contenido de humedad:

$$\% w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (\text{Ecuación 8})$$

- Densidad relativa:

$$D_r = \frac{e_{\text{máx}} - e}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}} = \frac{(\gamma_d - \gamma_{d\text{mín}})}{(\gamma_{d\text{máx}} - \gamma_{d\text{mín}})} \frac{\gamma_{d\text{máx}}}{\gamma_d} \quad (\text{Ecuación 9})$$

- Grado de saturación:

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad (\text{Ecuación 10})$$

1.3.1.3. Contenido de humedad.

El contenido de agua o humedad es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo (la humedad del suelo).

La norma ASTM D2216-10 define el contenido de humedad como la relación expresada como un porcentaje de la masa del agua "libre" en una masa dada de material a la masa del material sólido. Se utiliza para determinar estas masas un estándar de temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$.

Según la norma ASTM D2216-10 se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$w = \left[(M_{cws} - M_{cs}) / (M_{cs} - M_c) \right] \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

w = contenido de agua, %,

M_{cws} = peso del contenedor y el espécimen húmedo, g,

M_{cs} = peso del contenedor y espécimen secado al horno, g,

M_c = peso del contenedor, g,

M_w = peso del agua, g, y

M_s = peso de las partículas sólidas, g.

En mecánica de suelos el contenido de humedad se calcula, entre otras, de acuerdo a la siguiente expresión, que es derivada de la anterior:

$$w = H\% = \frac{\text{Peso}_{\text{húmedo}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{seco}}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Representa el peso de agua libre contenida en la muestra, expresado como porcentaje de su peso seco.

1.3.1.4. Relación de vacíos.

En la norma ASTM D653-11 se define relación de vacíos, e , como la proporción del volumen de espacio vacío, dividido para el volumen de partículas sólidas en una masa de suelo dado.

Relación de vacíos u oquedad. Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos. Se expresa con la letra "e" y se escribe de la forma siguiente:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (\text{Ecuación 13})$$

La relación de vacíos se expresa normalmente en forma decimal. Teóricamente puede variar entre 0 e ∞ . Los valores reales fluctúan entre 0,25 y 15. (Padilla Velázquez, s.f.)

1.3.1.5. Porosidad.

La norma ASTM 653-11 define porosidad, n , como la relación del volumen de huecos de una masa de suelo o roca dado, al volumen total del suelo o masa de roca, generalmente se expresa como un porcentaje. También como la relación entre el volumen total de huecos o intersticios en una roca o suelo respecto a su volumen total.

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo se tiene su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros.

En un suelo coexisten poros de dimensión considerable y poros microscópicos. Los poros microscópicos suelen contener agua, debido a la fuerza capilar, sin embargo, por los poros de dimensiones considerables, es decir poros macroscópicos, en principio están o llenos de aire, o llenos de una mezcla de agua-aire, o de agua. Estos poros forman una serie de circuitos entre ellos por donde se hace posible la transportación del agua a cierta velocidad, llamado permeabilidad. En los suelos arenosos abundan los macroporos, con alta permeabilidad, tienen baja capacidad para retener el agua; mientras que en los suelos arcillosos abundan los microporos, y por lo tanto tienen una baja permeabilidad.

1.3.2. Consistencia del suelo, límites.

En la norma ASTM D4318-00 se expresa que originalmente, seis "límites de la consistencia" fueron definidos por Albert Atterberg para suelos de grano fino: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite viscoso, el límite de la cohesión, el límite plástico, y el límite de la contracción. En el uso de la ingeniería

actual, el término se refiere sólo al límite líquido, límite plástico, y en algunas referencias, al límite de contracción, llamados límites de Atterberg.

En gran parte mediante el trabajo de A. Atterberg y A. Casagrande (1948), los límites de Atterberg y los índices relacionados con ellos han constituido unos valores muy útiles para caracterizar los conjuntos de partículas de suelos. Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino, solamente se puede presentar en cuatro estados de consistencia según la humedad.

Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando a los estados semiplástico/semisólido, plástico y finalmente líquido al ir añadiendo agua.

Existen tres límites de interés, que definen a los suelos según su estado, establecidos por Atterberg, referidos a la cantidad de agua que contienen.

1.3.2.1. Límite de contracción

El término límite de contracción, expresado como un contenido de agua en porcentaje, se supone típicamente para representar la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos, de un suelo cohesivo, en su mínimo porcentaje de poros obtenida por secado (generalmente horno). Por lo tanto, el concepto límite de contracción se puede utilizar para evaluar la potencial de encogimiento o posibilidad de desarrollo, o ambas, de grietas en los movimientos de tierra relacionados con los suelos cohesivos. (ASTM D427, 2004)

El fenómeno de contracción de los suelos se produce por efecto de las fuerzas de tensión superficial que desarrollan las partículas de agua al secarse; dando como resultado un volumen de suelo que con alguna mayor pérdida de humedad ya no se reduce en tamaño.

Se define como un contenido de humedad para el cual el suelo se encuentra en un estado de frontera para convertirse de sólido a semisólido o semiplástico.

$$L.C. = \left[\%H_{inicial} - \frac{V_{inicial} - V_{final}}{W_{sólido}} \right] * 100 \quad (\text{Ecuación 14})$$

1.3.2.2. Límite plástico

Es el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado semi-plástico/semi-sólido. (ASTM D4318, 2000)

El límite plástico se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a desmoronarse pequeños cilindros de 3 mm de diámetro. Se define como el contenido de humedad para el cual el suelo se encuentra en un estado frontera para convertirse de plástico a semiplástico (o semisólido).

L.P.= %H a la cual se produce la fractura del cilindro de 3mm

1.3.2.3. Límite líquido

Es el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite definido arbitrariamente entre el semilíquido y el estado plástico. (ASTM D4318, 2000)

El límite líquido se determina midiendo la humedad y el número de golpes necesarios para cerrar en una determinada longitud, una ranura de un determinado ancho mediante un aparato normalizado, llamado copa de Casagrande. Se define como el contenido de humedad para el cual el suelo se encuentra en un estado frontera para convertirse de plástico (o semilíquido) a líquido. Indica el contenido de agua para el cual el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte no drenada de 25 gr/cm².

L.L.= 25 golpes en las abcisas \Rightarrow %H (25)

1.3.2.4. Relaciones e índices asociados

Índice plástico (I_P): Indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica. Es el rango de variación entre el límite líquido y el límite plástico es el que da la pauta si un suelo es más plástico que otro.

Es el rango del contenido de humedad de un suelo donde se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico. (ASTM D4318, 2000)

$$I_P = L.L. - L.P. \quad \text{(Ecuación 15)}$$

Índice de fluidez (I_F): Es la pendiente de la curva de flujo obtenida a partir de una prueba de límite líquido, expresada como la diferencia en agua contenidos en 10 golpes y en 100 golpes (ASTM D653, 2011). Es la pendiente de la Curva de Fluidez.

$$I_F = \frac{y_1 - y_2}{\log(x_1) - \log(x_2)} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Índice de tenacidad (I_T): Es la mayor o menor resistencia a la deformación cuando está ha llegado a su Límite Plástico, un suelo que es resistente es tenaz (ASTM D653, 2011).

$$I_T = I_P / I_F \quad (\text{Ecuación 17})$$

1.3.3. Granulometría.

La norma ASTM D653-11, denomina granulometría (graduación, distribución de tamaño de grano, textura) a las proporciones en peso de un suelo distribuido en rangos de tamaño de partícula especificados.

La granulometría es la medición de los granos de un suelo y la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. Según las diferentes organizaciones reconocidas estudiosas de los suelos, los suelos en Ingeniería Civil se agrupan según su tamaño de sus partículas, tabla 7.

Tabla 6. Clasificación según el tamaño de las partículas

	Grava	Arena	Limo	Arcilla
<i>Organización</i>	<i>Tamaño partículas [mm]</i>			
M.I.T.	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
A.A.S.T.H.O.	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
S.U.C.S.	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	< 0.075	

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Al definir la cangahua se describe con mucha frecuencia como un suelo limo arenoso de plasticidad media a baja (ML)³ o en algunas ocasiones como una arena limosa de baja plasticidad (SM)⁴ por lo que según el sistema de clasificación S.U.C.S. se puede estimar que la cangahua está formada por más del 50% de grano fino, y al menos el 30% se retiene en el tamiz N°200 (arena).

³ De acuerdo al Sistema Unificado de Suelos (S.U.C.S.).

⁴ Ídem.

1.4. Características mecánicas de la cangahua

1.4.1. Cohesión.

La cohesión de un suelo es una característica tal que un suelo opone más o menos resistencia a el desmoronamiento o a ser deleznable. Las fuerzas que actúan se ejercen entre el contacto de las partículas que componen el suelo, por lo que cuanto mayor contacto haya entre las partículas, actuarán más fuerzas. Consecuentemente la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas que componen un suelo.

La norma ASTM D653-11 da varias acepciones para la cohesión, $c [F*L^{-2}]$, a saber: la resistencia al corte cuando la tensión normal es cero; la parte de la resistencia al corte de un suelo indicado por el término c , en la ecuación de Coulomb, $\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$; y, en suelos granulares cohesión aparente debido a fuerzas capilares.

La cohesión de la cangahua se encuentra en el rango de 40 a 100 KPa.

1.4.2. Ángulo de fricción interna.

En el área de ingeniería, el ángulo de rozamiento interno es una propiedad física atribuida generalmente a los materiales granulares. Se relaciona con el ángulo de reposo o el ángulo máximo posible de la pendiente de un montoncito de material granular

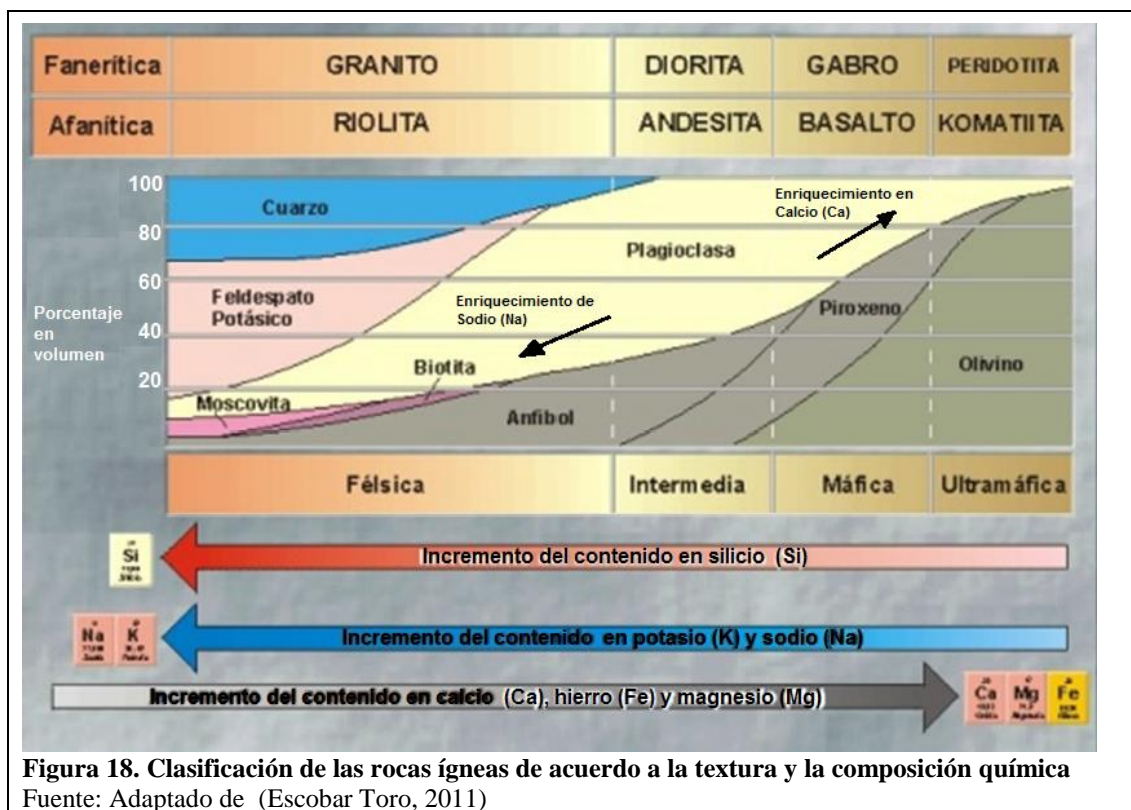
La norma ASTM D653-11 define ángulo de fricción interna (ángulo de resistencia al corte), $\varphi [^\circ]$, ángulo entre el eje de tensión normal y la tangente a la envolvente de Mohr en un punto dado que representa un condición esfuerzo de falla para materiales sólidos.

El ángulo de fricción interna de la cangahua está en el rango 22° a 33°.

1.5. Descripción mineralógica de la cangahua

Según la publicación (no editada): “*Fractures and Failure Mechanics in Loess and Applications to Rock Mechanics*”, R.J. Lutton, USA Corps of Engineers, Vickburg, 1969, “Las cangahuas son suelos loésicos por su correspondencia en origen y comportamiento mecánico con los suelos de esa denominación.” (Asociación Astec, s.f.).

Según R. Hoffstetter este depósito, que puede considerarse en su mayoría como una toba volcánica, está constituido por partículas finas especialmente de plagioclasas, hornblenda, augita y biotita y a veces cuarzo, es decir, los elementos minerales constitutivos de las andesitas. (Asociación Astec, s.f.)



Se sitúa a la cangahua perteneciente a la Andesita por lo que está en la línea de textura afanítica o de grano fino, la cual se origina cuando el enfriamiento del magma es relativamente rápido y los cristales que se forman son de tamaño microscópico, es imposible distinguir a simple vista los minerales que componen la roca.

Como se observa en la figura 18, los contenidos en silicio, potasio, sodio, calcio, hierro y magnesio están en la zona intermedia (el término félsico⁵ se opone al de máfico⁶), con poco cuarzo y olivino.

⁵ Rico en feldespato y sílice.

⁶ Rico en magnesio y hierro.

CAPÍTULO 2

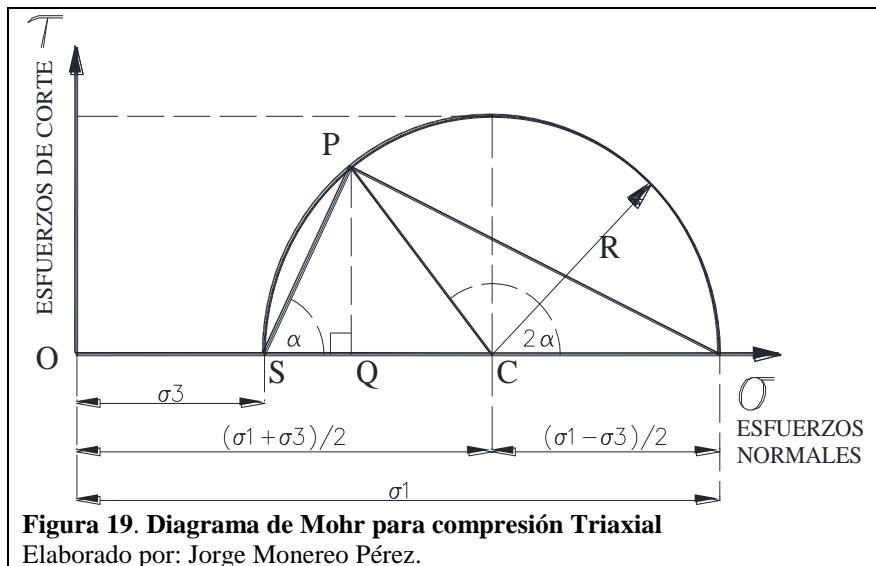
CONCEPTUALIZACIÓN DEL ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Resistencia al corte del suelo

2.1.1. Círculo de Mohr.

El círculo de Mohr es una construcción gráfica, en la que se define una serie de puntos P , tal que se genera un círculo, y dicho punto, o puntos, P es una combinación de esfuerzos normales y esfuerzos tangenciales límites.

2.1.1.1. Descripción general.



En la figura 19, del círculo de Mohr se deben notar los siguientes puntos:

- Se representa en el eje horizontal las tensiones normales, y en el eje vertical se representa las tensiones de corte, en igual escala.
- Los extremos del diámetro del semicírculo, toma los valores de σ_3 y σ_1 , medidos desde el origen.
- Las coordenadas del punto P son las tensiones normales y las tensiones de corte. Alternativamente P puede ser encontrado trazando un radio desde el centro C a un ángulo 2α con respecto a la horizontal. En un plano inclinado de α , la tensión normal es igual a OQ y la tensión de corte es igual a PQ .

- El diámetro del círculo es igual a $(\sigma_1 - \sigma_3)$, la diferencia de tensiones principales es conocida como “esfuerzo desviador”, y está dada por la fórmula:

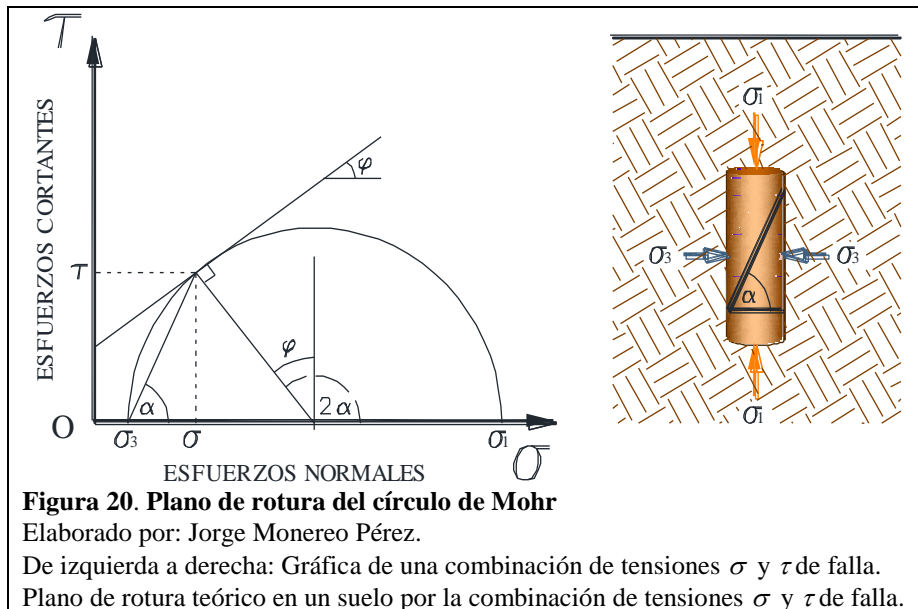
$$\sigma_d = (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (\text{Ecuación 18})$$

- La máxima tensión de corte es representada por punto más alto del círculo, y es igual al radio.

$$R = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \quad (\text{Ecuación 19})$$

- Un plano sobre el cual ocurre la máxima tensión de corte, está inclinado en 45° con respecto a la horizontal.
- El centro del círculo C , está a una distancia:

$$\overline{OC} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}, \text{ desde el origen.} \quad (\text{Ecuación 20})$$



En cierta combinación de tensiones σ y τ se producirá la rotura, en un plano de inclinación α respecto al plano en que se ejerce el esfuerzo principal mayor, es decir σ_1 . El círculo de Mohr es tangente a la línea de resistencia al corte $\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$ llamada *línea de resistencia intrínseca*. Asociado a la condición de rotura, geométricamente se obtiene que $2\alpha = 90^\circ + \varphi$, por lo tanto el ángulo correspondiente al plano de rotura será: $\alpha_{ROT} = 45^\circ + \varphi/2$, es decir que el plano de rotura forma un ángulo de $45^\circ + 1/2 \varphi$ con la dirección de la tensión principal menor, figura 20.

2.1.1.2. Criterio de falla Mohr - Coulomb.

Mohr (1900) presentó una teoría sobre la ruptura de los materiales. Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante. Así entonces, la relación funcional entre un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante sobre un plano de falla se expresa en la forma:

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

τ_f : esfuerzo cortante sobre el plano de falla.

$f(\sigma)$: función del esfuerzo normal sobre el plano de falla

La envolvente de falla definida es una línea curva. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación se escribe como:

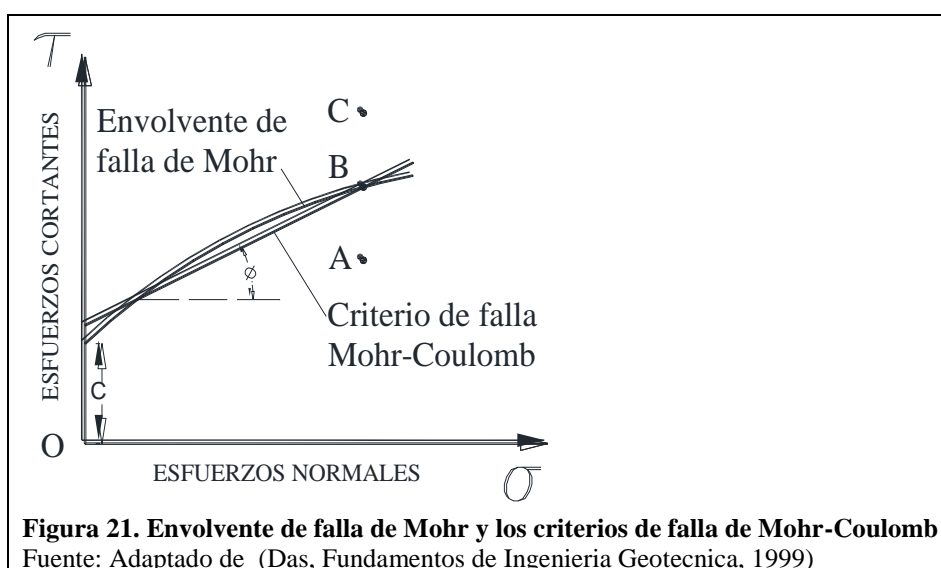
$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

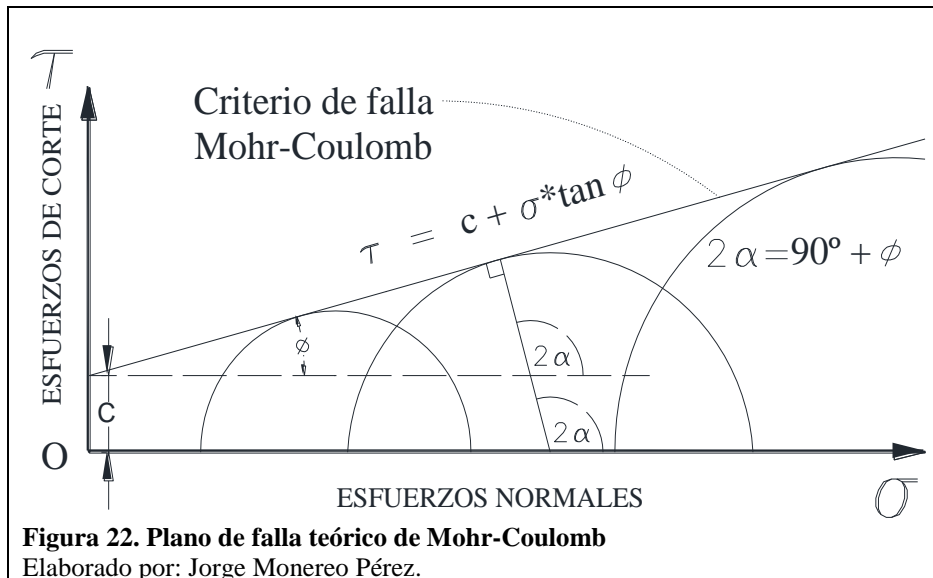
c : Cohesión*

ϕ : Ángulo de fricción interna**

La Ecuación 22 se llama *criterio de falla de Mohr-Coulomb*. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 1999)



El significado de la envolvente de falla se explica como sigue: si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo son tales que son representados por el punto *A*, figura 21, entonces no ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano son representados por el punto *B* (que se encuentra sobre la envolvente de falla), figura 21, entonces ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Un estado de esfuerzo sobre un plano representado por el punto *C*, figura 21, no existe porque éste queda por arriba de la envolvente de falla y la falla cortante ya habría ocurrido en el suelo (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 1999).



El fundamento del análisis de la Ley de Coulomb impone sobre un suelo condiciones idealizadas, es decir, induce la ocurrencia de una falla a través de un plano. Sobre este plano actúan dos esfuerzos: un esfuerzo normal sobre el plano de falla debido a una carga vertical (Q_v) aplicada externamente y un esfuerzo cortante (ya que tiende a *cortar* o separar el suelo) en el seno del suelo, inducido por la aplicación de la carga vertical.

El esfuerzo cortante en el plano de falla es la fuerza de rozamiento o fricción que ejerce el suelo (la oposición a ser *cortado* o separado) en uno de sus múltiples planos de unión de sus partículas y que a la vez es el plano con menor resistencia de todos, por lo que es el que falla.

A partir de una serie de pruebas de compresión, llevadas a cabo sobre muestras idénticas de suelo, con esfuerzos de confinamiento diferentes, representados por un conjunto de círculos de Mohr que representan la falla, se construye la envolvente de falla del criterio de falla Mohr-Coulomb, figura 22. En la práctica se ha definido que una envolvente de falla es tangente a estos círculos, la que es representada aproximadamente como una línea recta sobre un rango de tensiones.

La línea que se junta con el centro del círculo al punto tangente, esta inclinada en un ángulo 2α con relación al eje, de la geometría del triángulo rectángulo, se tiene:

$$2\alpha = 90^\circ + \phi \quad (\text{Ecuación 23})$$

Por lo tanto:

$$\alpha = 45^\circ + \phi / 2 \quad (\text{Ecuación 24})$$

A este plano, Ecuación 24, se le denomina plano de falla teórico. Es decir que el plano de rotura teórico forma un ángulo de $45^\circ + \frac{1}{2} \phi$ con la dirección de la tensión principal menor.

**Cohesión* entendida como la fuerza que mantiene la unión de las partes constituyentes de un todo, y para el caso de suelos, la fuerza que atrae entre sí a las partículas que lo conforman. Gráficamente, el valor de la ordenada, figura 22, en la intersección del criterio de falla y el eje de ordenadas.

***Ángulo de fricción interno* entendido como la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas. Gráficamente es el valor del ángulo entre el eje de abscisas y la envolvente de falla.

2.1.2. Deformación unitaria.

La deformación es el cambio, producido en un cuerpo, respecto a su forma cuando se le somete a esfuerzos inducidos de una carga.

Si se establece un sistema ortogonal de tres ejes donde el eje axial o eje **z** coincida con el cenit y el centro de la Tierra, la magnitud más usada para medir la deformación es lo que en ingeniería se llama *deformación unitaria axial, deformación unitaria longitudinal (o lineal) o deformación unitaria vertical* que generalmente se la denomina **deformación unitaria** y se define como el cambio de longitud por unidad de longitud:

$$\varepsilon_L = \varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{Ecuación 25})$$

En el supuesto sistema establecido, también se halla la deformación en un plano horizontal que abarca el eje **x** y el eje **y**, tal que en ingeniería se llama *deformación unitaria radial, deformación unitaria lateral o deformación unitaria de superficie*, que se define como el cambio de superficie transversal por unidad de superficie (área):

$$\varepsilon_A = \frac{A_f - A_0}{A_0} = \frac{\Delta A}{A} \quad (\text{Ecuación 26})$$

La deformación unitaria volumétrica, que es consecuencia directa de las anteriores, se define como el cambio de volumen por unidad de volumen:

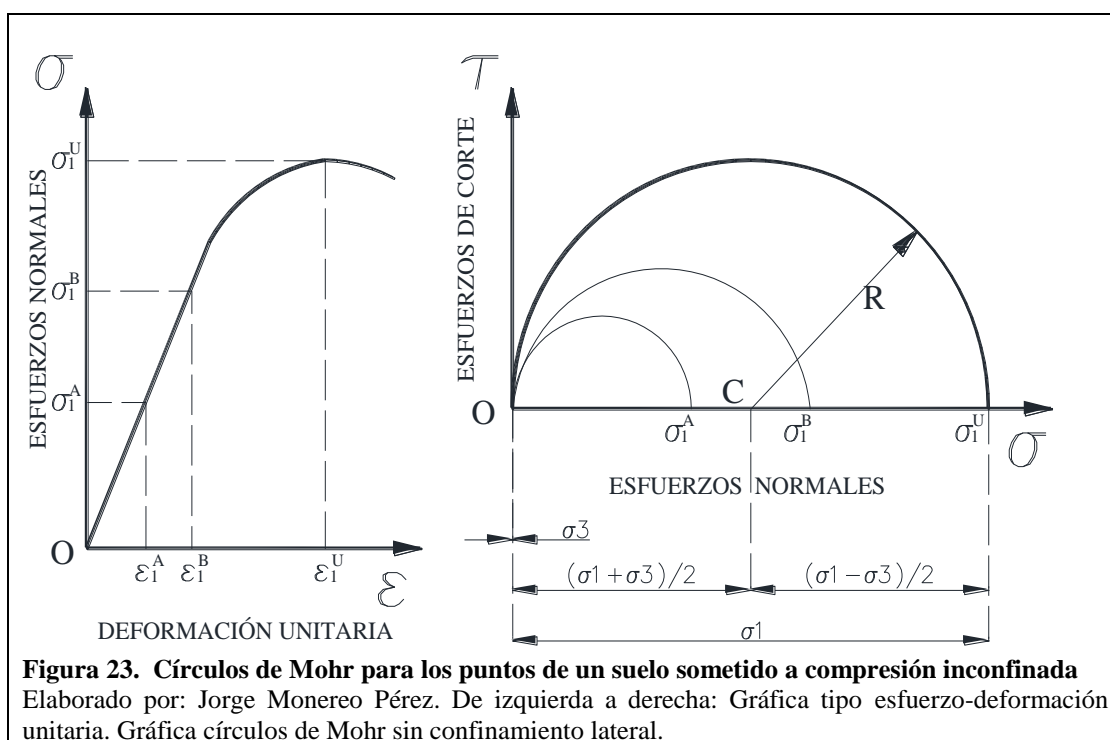
$$\varepsilon_V = \frac{V_f - V_0}{V_0} = \frac{\Delta V}{V} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Según el comportamiento del material respecto a su forma se divide en:

- Deformaciones elásticas, reversibles o no permanentes, el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación.
- Deformaciones plásticas, irreversibles o permanentes. Modo de deformación en que el material no regresa a su forma original después de retirar la carga aplicada.

2.1.3. Compresión inconfiada.

El objetivo de la compresión uniaxial, no confinada o inconfiada es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión de los suelos que sean cohesivos o semi-cohesivos en términos de esfuerzos totales. La presión atmosférica rodea al suelo y por esto el $\sigma_3 = 0$.



La finalidad es determinar la resistencia a la compresión inconfiada, la cual es el esfuerzo último:

$$q_U = \sigma_{máx} = \sigma_1^U = 2R \quad (\text{Ecuación 28})$$

A la vez se calcula la cohesión, para suelos que sean cohesivos o semi-cohesivos, que está definida por la expresión:

$$C_U = \frac{q_U}{2} = R \quad (\text{Ecuación 29})$$

Permite dibujar σ versus ε , y determinar E y $q_u = \sigma_1$, teniendo en cuenta que al no estar confinado se incrementa el área transversal, para el cálculo del esfuerzo se debe realizar una corrección al área:

$$A_{corregida} = \frac{A_o}{(1 - \varepsilon)} \quad (\text{Ecuación 30})$$

2.1.4. Ensayos edométricos (Consolidación unidimensional).

Los ensayos edométricos están especialmente indicados para estudiar la consolidación de suelos saturados. Pueden realizarse con muestras inalteradas de suelos cohesivos o muestras recompactadas de cualquier material.

Cabe distinguir en primera instancia la diferencia entre compactación y consolidación:

- La compactación es el proceso por el cual se reduce el volumen de vacíos (agua-aire) en un suelo no saturado, para obtener una densidad mayor de suelo.
- La consolidación es el proceso por el cual un suelo saturado bajo una carga impuesta incrementa su densidad expulsando el agua de sus poros y reduce por ende su volumen. En suelos granulares la expulsión de agua es inmediata por lo que el proceso, entendido como una acción prolongada en el tiempo, no se produce como tal, por lo que generalmente una definición adecuada es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo.

La consolidación puede ser primaria y secundaria:

- Primaria, cuando cargado el suelo, la reducción de volumen se debe a la expulsión del agua, fenómeno en el que se transfiere la carga soportada por el agua al esqueleto mineral, esta es la consolidación propiamente dicha.
- Secundaria, cuando la consolidación se da por reajuste del esqueleto mineral y luego de que la carga está casi toda soportada por este y no por el agua.

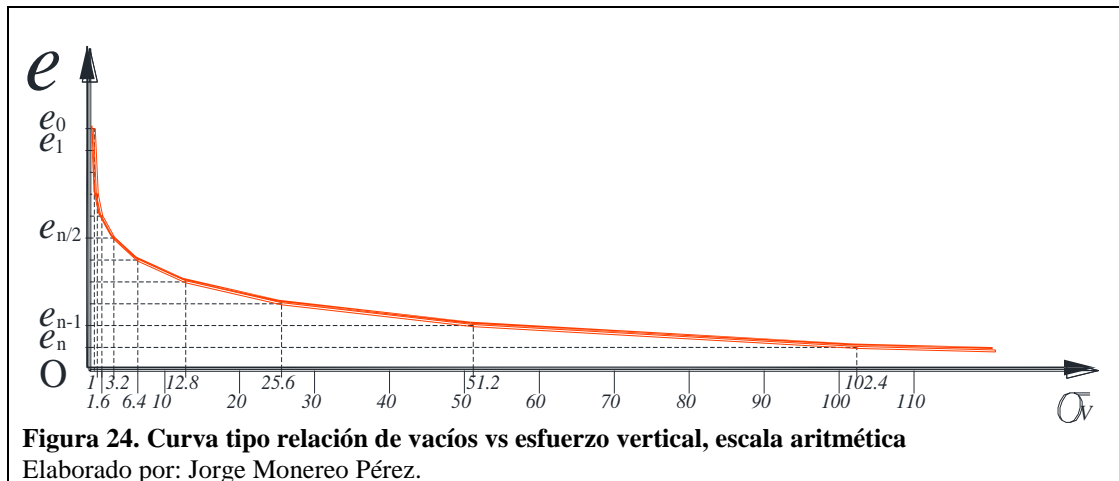
2.1.4.1. Edómetro o consolidómetro.

El Edómetro es un aparato que se usa en los laboratorios de mecánica de suelos para obtener la compresibilidad de un espécimen de suelo sometido a consolidación. La muestra es un cilindro aplanado y el ensayo es condiciones de compresión confinada. Se tienen unas condiciones edométricas o de deformación lateral nula en un suelo

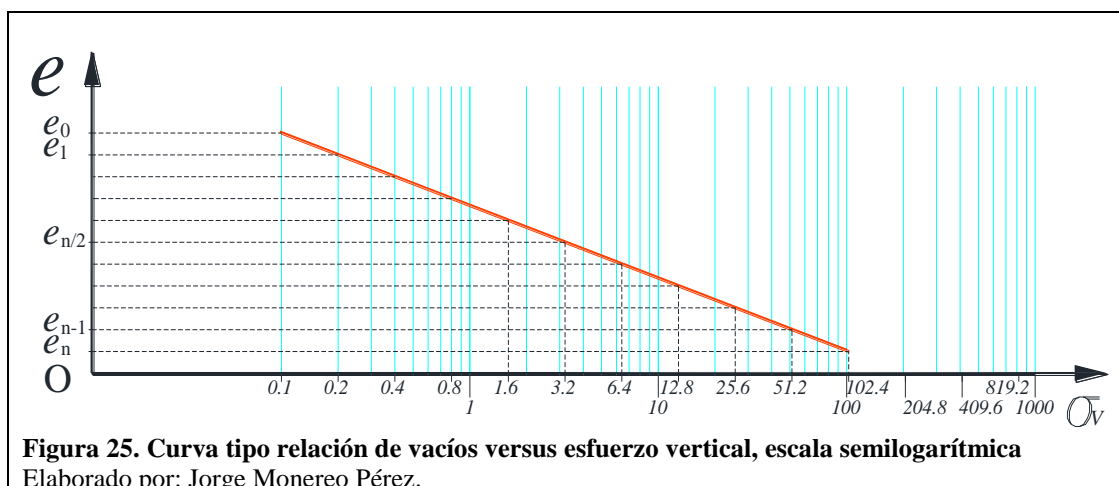
elástico e isótropo, es decir el área transversal de la muestra no varía durante el ensayo, por lo que la deformación unitaria lateral es cero y la deformación unitaria volumétrica es igual a la deformación unitaria longitudinal.

Las piedras porosas de los extremos, drenan el agua cuando la carga es aplicada al espécimen. Las cargas se van doblando cada vez y los incrementos se hacen cada 24 horas. Se registra las deformaciones versus tiempo, adicionalmente versus relación de vacíos. Finalmente, la descarga se hace gradual.

Las curvas que relacionan σ_v (esfuerzo vertical), e (relación de vacíos) y dt son:



Si los resultados del test edométrico, son representados en términos de la curva edométrica ($\Delta e = f(\Delta \sigma_v)$), figura 24, se vuelve evidente que para cada punto en la curva se tiene un índice distinto para cada par de datos tal que σ_v / e .



De las gráficas de las figuras 24 y 25, se obtienen los siguientes coeficientes que califican la compresibilidad del suelo así:

a_v , coeficiente de compresibilidad (L^2/F)

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_v} \quad (\text{Ecuación 31})$$

m_v , coeficiente de compresibilidad volumétrica (L^2/F), en el que e_0 es la relación de vacíos del suelo antes de un incremento de carga específico:

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Las anteriores curvas e vs σ_v , no son rectas, como lo son las curvas $\sigma - \varepsilon$ (que siguen la ley de HOOKE) donde la pendiente da una medida del grado de rigidez o de deformabilidad del material.

Aquí la compresibilidad cambia con la magnitud del esfuerzo, y el valor a_v debe ser la pendiente que corresponda con las presiones del terreno.

2.1.4.2. Módulo edométrico.

Se define como la relación entre incrementos de esfuerzos efectivos verticales y deformaciones verticales, cuando la deformación unitaria lateral es nula, tal la expresión es:

$$E_{edo} = \frac{\Delta \sigma'_v}{\Delta \varepsilon_v} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Al estar restringido lateralmente se cumple que:

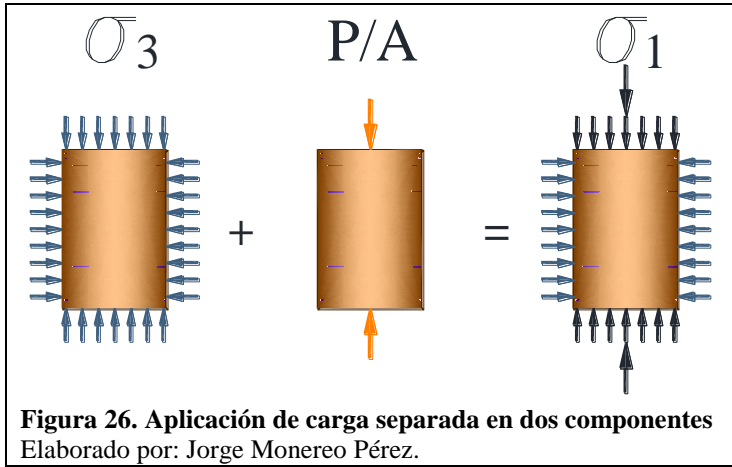
$$\Delta \varepsilon_v = \frac{\Delta e}{(1+e_0)} = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Por lo tanto el Módulo edométrico (F/L^2) se calcula:

$$E_{edo} = \Delta \sigma'_v \frac{(1+e_0)}{\Delta e} = \frac{(1+e_0)}{a_v} = \frac{1}{m_v} \quad (\text{Ecuación 35})$$

2.1.5. Ensayos Triaxiales.

2.1.5.1. Descripción general.



Cuando una probeta cilíndrica de longitud L y diámetro D , se somete a una prueba de compresión Triaxial, será cargada en dos etapas:

- Primera etapa: Se aplica la presión o esfuerzo de confinamiento (alrededor de la muestra y en caras superior e inferior) denotada por σ_3 . Esta actúa igualmente en todas las direcciones, así las tensiones radial y axial serán igual a σ_3 , o ninguna tensión de corte es inducida en la muestra.
- Segunda etapa: Una carga axial P se aplicará desde afuera de la celda y es progresivamente incrementada. El esfuerzo adicional causada por P , es solamente en la dirección axial y es igual a P/A . Cabe aclarar que el área A es el área corregida $A_{corregida}$ (Ecuación 30).

Finalmente el esfuerzo axial total, denotado por σ_1 , es igual a $(\sigma_3 + P/A)$, es decir:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + P/A \quad (\text{Ecuación 36})$$

Esta ecuación puede ser ordenada de la siguiente manera:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = P/A \quad (\text{Ecuación 37})$$

La diferencia de los esfuerzos principales $(\sigma_1 - \sigma_3)$ se conoce con el nombre de esfuerzo desviador, σ_d :

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \sigma_d \quad (\text{Ecuación 38})$$

En una prueba la presión de la celda σ_3 , es mantenida constante a un valor dado, mientras que el esfuerzo desviador es gradualmente incrementado, aumentando la

carga P y por tanto σ_1 . Generalmente la tensión de falla estará representada por el máximo del esfuerzo de desviación.

Algunas ventajas de los ensayos de compresión Triaxial son:

- La muestra no es forzada a inducir la falla sobre una superficie determinada.
- Consecuentemente, una prueba de compresión puede revelar una superficie débil relacionada a alguna característica natural de la estructura del suelo.
- Las tensiones aplicadas en pruebas de compresión en laboratorio, son una aproximación de aquellas que ocurren en situ.
- Las tensiones aplicadas son las tensiones principales y es posible realizar un estrecho control sobre las tensiones y las deformaciones.
- Las condiciones de drenaje pueden ser controladas.

Algunas limitaciones de los ensayos de compresión Triaxial son:

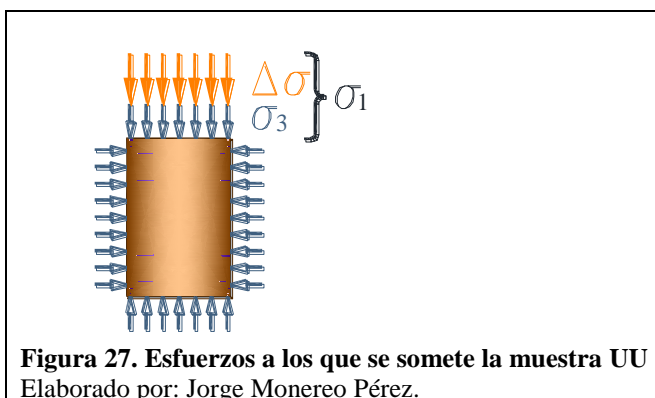
- En algunos casos de arcilla el tamaño de la muestra puede tener importantes efectos sobre la resistencia medida.
- Se deben confeccionar o tomar muestras de diámetros que representen adecuadamente grietas y discontinuidades en una muestra de suelo.

En el ensayo triaxial dependiendo del procedimiento de ejecución se puede obtener los resultados en función de esfuerzos totales o de esfuerzos efectivos. El esfuerzo total se obtiene cuando al espécimen se le aplica la carga de tal forma que la presión interna a la que es sometido, no es disipada si no en la falla del mismo. En el proceso de carga, tanto la estructura del suelo como el aire-agua contenido en los poros, soportan la presión inducida por la carga. Si por algún método se deja que fluya el aire-agua contenido en el espécimen, se consigue que la presión inducida por la carga impuesta solo la soporte la estructura sólida del suelo, al cual se define como esfuerzo efectivo, consecuentemente el esfuerzo efectivo está definido como la diferencia entre el esfuerzo total y la presión del aire-agua que existe en los vacíos del suelo (presión de poros).

2.1.5.2. Ensayo Triaxial UU.

2.1.5.2.1. Descripción general del ensayo UU.

Prueba no consolidada-no drenada o prueba no drenada (prueba UU). En este tipo de ensayo, una de las condiciones es que no se permite la consolidación del espécimen manteniendo la válvula de drenaje cerrada en todo el proceso del ensayo, tanto en la etapa de consolidación durante la aplicación del esfuerzo principal menor, como en la etapa de carga, por lo que los parámetros que se obtienen son en función de esfuerzos totales.



Para realizar el ensayo se aplica la presión de cámara o esfuerzo de confinamiento con el espécimen en el interior de la cámara. A continuación se aplica la carga axial. Se va incrementando la carga axial a un ratio determinado. Se recoge la información de esfuerzo versus deformación en el transcurso del ensayo, hasta que alcance el esfuerzo último o esfuerzo principal mayor. Se hacen tres círculos con diferentes valores del esfuerzo principal menor, siempre procurando que en cada ensayo se duplique la presión de cámara inmediatamente anterior, con estos tres círculos se traza la envolvente Mohr-Coulomb, figura 22. La desventaja de este tipo de triaxial es que no se pueden determinar los esfuerzos efectivos ya que al hacerse rápidamente y no permitirse el drenaje, el incremento de esfuerzo es asumido por el agua y el aire.

2.1.5.3. Ensayo Triaxial U.U. saturado.

2.1.5.3.1. Descripción general del ensayo U.U. saturado.

Este tipo de ensayo tiene las mismas características que el ensayo U-U con la diferencia que las muestras se las lleva al estado de saturación máximo posible. La única forma de obtener parámetros efectivos con este ensayo es garantizando que la

muestra en ensayo esté completamente saturada (algunos autores identifican que una muestra está saturada en la práctica antes del 100%, ya que existe aire atrapado en el suelo).

Saturación:

- El objetivo de la fase de saturación del espécimen es llenar todos los vacíos en la muestra con agua sin que se produzcan esfuerzos indeseables en el ensayo. La saturación se realiza normalmente mediante la aplicación al espécimen de una contrapresión al aire-agua que albergan los poros para conducir el aire en solución en el agua al exterior del espécimen y saturar el sistema por el siguiente método: aplicar vacío a la muestra y el sistema de drenaje (líneas, discos porosos, dispositivo de presión de poro, filtros, tiras, jaula y discos) y a continuación, permitiendo que agua sin aire fluya a través del sistema y el espécimen, mientras se mantiene el vacío hasta que la presión en la cabeza y la contrapresión en la base se igualen.

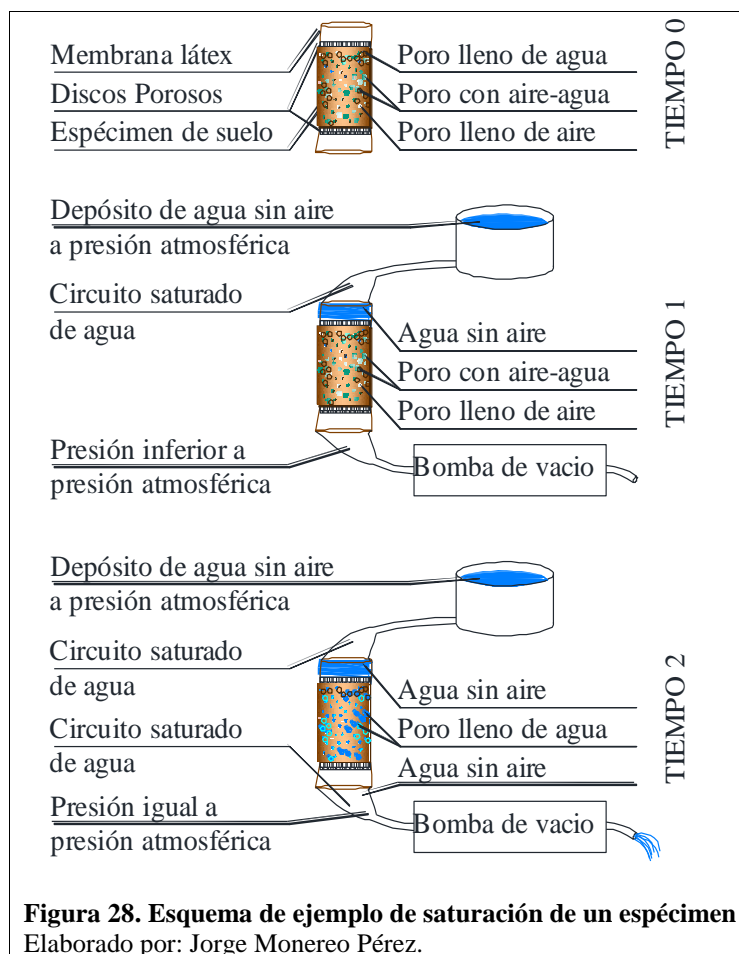


Figura 28. Esquema de ejemplo de saturación de un espécimen
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Procedimiento:

- Para esta prueba se requiere probar 3 especímenes a diferente presión de confinamiento. Los especímenes podrán obtenerse de muestras inalteradas o de muestras alteradas, utilizando un molde y un pisón, compactando el suelo y reproduciendo un cierto peso volumétrico.
- Los especímenes se harán de 3' de diámetro (aproximadamente) y la altura será de 2 a 2.5 veces el diámetro.
- Determínese la densidad y la humedad del suelo en estudio.
- Se medirán los diámetros: superior (D_s), central (D_c) e inferior (D_i).
- Las muestras se introducen a un recipiente hermético para que no pierdan humedad.
- Se inicia con la primera muestra, la cual es medida y pesada, anotándose estos datos en el registro correspondiente.
- Se cubre la muestra con una membrana de látex, ligada perfectamente para evitar que penetre el agua que se utiliza para dar confinamiento al suelo. Se satura, con el procedimiento anterior. Se coloca la muestra en la base de la cámara triaxial, se le coloca el cabezal encima.
- Se saca el vástago de carga y se coloca la cámara triaxial sobre la muestra, se ajustan los tornillos, se baja el vástago hasta que este toque el cabezal.
- Se coloca la cámara en la prensa, se introduce el agua que dará la presión confinante, con la cual se va a ensayar el primer espécimen. Teniendo cuidado de revisar la válvula que se encuentra en la parte superior de la cámara, la cual debe estar ligeramente abierta y cuando salga poca agua, esto indica que la cámara se llenó completamente de agua, por lo que se procede a cerrar esta válvula.
- Se ajusta el embolo de presión a la parte superior de la cámara, esto es para que la prensa funcione por medio del motor a una velocidad constante (1.416 mm por minuto), se ajusta el extensómetro (el que registra unidades de deformación).
- Se aplica la carga, tomándose lecturas de unidades de carga cada periodo de unidades de deformación a, hasta que se registren 2 unidades de carga iguales o la postrera sea inferior. También se dejan de tomar lecturas o se suspende el ensayo, si la muestra de suelo presenta una deformación del 20% con respecto a la altura inicial.

- Se elimina la presión de confinamiento y se saca el espécimen fallado, y se somete a secado una muestra en el horno para obtener el contenido de agua.
- Para los especímenes restantes se utiliza el mismo procedimiento, lo único que se hace es variar la presión de confinamiento.

2.1.5.3.2. *Informes de los ensayos.*

Cuando ya se probaron todos los especímenes, se calculan los esfuerzos en los diferentes intervalos, para cada espécimen.

De los datos obtenidos en los ensayos se toma el mayor esfuerzo menos el esfuerzo de confinamiento para cada espécimen y es éste el que se grafica; se le conoce como esfuerzo desviador.

Para obtener la Cohesión y el Ángulo de fricción interna del suelo, se usan los círculos de Mohr; en donde el diámetro del círculo será el esfuerzo desviador.

Para el trazo de los círculos se utiliza un eje vertical y otro horizontal. En el vertical se graficarán los esfuerzos tangenciales y en el horizontal se graficarán los esfuerzos normales.

Ya que se trazaron los círculos, se traza una tangente a estos hasta cortar el eje vertical; la distancia que existe a partir del origen hasta el corte antes descrito y medida en la escala previamente fijada, se le conoce como cohesión aparente del suelo.

Para obtener el Ángulo de fricción interna del suelo; se traza una horizontal que corte la tangente antes descrita; el ángulo formado por la horizontal y la tangente será el de fricción interna del suelo, que puede ser medido con un transportador u obtenido con la función tangente o por medios gráfico-matemáticos, o también con programas informáticos.

Como primer informe o reporte se necesitará conocer las curvas esfuerzo-deformación (esfuerzo desviador ya corregido por área versus deformación axial) de los especímenes ensayados en el triaxial, para de estas curvas obtener el módulo de

deformación de cada espécimen. A la par se necesitará conocer la identificación de la muestra, el esfuerzo desviador alcanzado, el esfuerzo de confinamiento, el esfuerzo máximo, el módulo de elasticidad, la deformación unitaria, la saturación, la relación de vacíos, el ángulo de fricción y la cohesión.

Como información adicional se reportará las condiciones iniciales del espécimen como altura, área, volumen, peso unitario húmedo y seco, el peso del espécimen, la porosidad, gravedad específica y grado de aireación. Al existir tres muestras por ensayo en realidad el primer reporte son tres informes referidos a las tres muestras necesarias para dibujar los círculos de Mohr.

Se reportará a continuación las curvas esfuerzo-deformación de los tres ensayos a diferentes esfuerzos de confinamiento en una sola gráfica a fin de visualizar el incremento de la pendiente del módulo de elasticidad. Por lo tanto se graficará la regresión lineal del esfuerzo de confinamiento versus módulo de elasticidad, y se establecerán sus parámetros.

Finalmente, un tercer informe donde se graficarán los círculos de Mohr, los datos principales de los círculos, el criterio de falla Mohr-Coulomb y su ajuste R^2 , los datos asociados a este criterio como cohesión y ángulo de fricción, la descripción del suelo y la clasificación SUCS.

2.2. Módulo de deformación

En la literatura internacional a menudo hay una confusión entre los términos módulos de elasticidad, y módulos de deformación. En el diccionario técnico “*ASTM Dictionary of Engineering Science and Technology (10th Edition)*” el uso del término módulo elasticidad se recomienda para los materiales que se deforman de acuerdo con la ley de Hooke; el término módulo de deformación para los materiales que se deforman de otro modo. Sin embargo, no se hace la distinción explícita, por lo que el uso indiferenciado es frecuente.

Mouratidis, A. y Pantelidis, L. en “*The domain of Modulus of Elasticity and Modulus of Deformation*” definen módulo de deformación, al módulo secante y módulo elástico, al módulo tangente. Sin embargo, estas definiciones no abarcan el espectro de curvas esfuerzo-deformación de los suelos, por lo que no se ajustan a la definición anterior de la ASTM.

Cabe establecer primeramente la distinción que se usa en esta investigación:

- *Módulo de deformación*, como un módulo que abarca la relación de esfuerzo versus deformación de un suelo, incluyendo el comportamiento elástico y plástico, sin tener en cuenta ciertas limitaciones, como con restricciones laterales o sin ellas. Por lo cual el término se usa como una generalización para indicar la relación esfuerzo-deformación, ya sea módulo tangente y/o secante.
- *Módulo de Elasticidad*, como un módulo que abarca la relación de esfuerzo versus deformación axial de un material (generalmente se atribuye a las rocas y hormigones), del comportamiento elástico, con deformación radial (lateral).
- *Módulo Edométrico*, como un módulo que abarca la relación de esfuerzo versus deformación axial de un suelo, del comportamiento elástico, sin deformación radial (lateral).

2.2.1. Deformaciones elásticas.

La elasticidad es una propiedad atribuida a los materiales por la cual si dicho material esta deformado por la aplicación de una carga externa, al retirarle la carga externa recupera su forma o parte de la misma.

Algunas sustancias, tales como los gases poseen únicamente elasticidad volumétrica, pero los sólidos pueden poseer, además, elasticidad de forma.

Si el material recupera su forma original se dice que es perfectamente elástico, en cambio si el material queda permanentemente deformado, es decir adopta la forma en

la que se encuentra con la aplicación de la carga, se dice que es un material inelástico.

No se conocen materiales que sean perfectamente elásticos a través del rango de esfuerzos completo hasta la ruptura, aunque algunos materiales como el acero, parecen ser elásticos en un considerable rango de esfuerzos

Los materiales isotrópicos son aquellos que sus características de deformación se comportan de igual manera independientemente de la dirección de los esfuerzos, sin embargo los materiales anisotrópicos presentan diferentes características frente a la deformación dependiendo de la dirección de los esfuerzos a que sea sometido.

Por lo que en gran medida dependerá de la composición mineralógica del material así como de la formación de sus cristales.

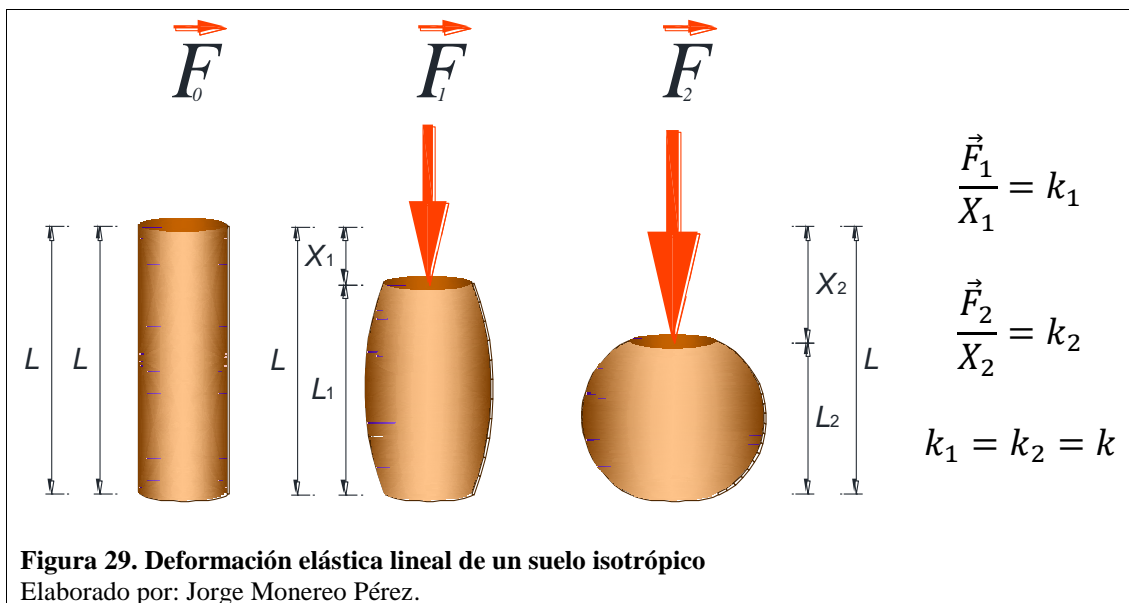
Una medida cuantitativa de la elasticidad de un material podría lógicamente expresarse como el grado al que el material puede deformarse dentro del límite de la acción elástica; pero, pensando en términos de esfuerzos que en deformación, un índice práctico de la elasticidad es el esfuerzo que marca el límite del comportamiento elástico.

En mecánica de suelos así como en resistencia de materiales, se han establecido ciertos límites para conocer la resistencia elástica en un suelo: el límite elástico, el límite proporcional y la resistencia. Siendo estos parámetros referidos y obtenidos a zonas de las curvas esfuerzo-deformación a los que se someten especímenes de los materiales.

El concepto de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación es conocido como Ley de Hooke.

2.2.2. La Ley de Hooke.

Fue Robert Hooke (1635-1703), físico-matemático, químico y astrónomo inglés, quien primero demostró el comportamiento sencillo relativo a la elasticidad de un cuerpo. Hooke estudió los efectos producidos (en resortes) por las fuerzas de tensión, observó que había un aumento de la longitud del cuerpo que era proporcional a la fuerza aplicada. (Fundación Educativa Héctor A. García, s.f.)



Hooke estableció la ley fundamental que relaciona la fuerza aplicada y la deformación producida. Para una deformación unidimensional, la Ley de Hooke se puede expresar matemáticamente así:

$$\vec{F} = -k * \vec{X} \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde:

k : es la constante de proporcionalidad o de elasticidad.

\vec{X} : es la deformación, esto es, lo que se ha comprimido o estirado a partir del estado que no tiene deformación. Se conoce también como el alargamiento de su posición de equilibrio.

\vec{F} : es la fuerza aplicada.

El signo negativo en la Ecuación 39 se debe a la fuerza restauradora que tiene sentido contrario al desplazamiento. La fuerza se opone o se resiste a la deformación producida.

Terzaghi utilizó un modelo mecánico de un sistema de resortes para la comprensión de la consolidación en suelos finos. La Ley de Hooke establece que el límite de la tensión elástica de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza. Los resortes son un modelo bastante interesante en la interpretación de la teoría de la elasticidad. Así, pues, en un suelo idealizado isótropo se regirá en cierto rango por dicha Ley.

La Ley de Hooke fue en cierta medida el preludio del surgimiento de la Teoría de la Elasticidad, la cual da la explicación formal matemática de la relación con la Elasticidad, no siendo objeto ésta del presente trabajo por su extensión, la Ley de Hooke es relación constitutiva de dicha Teoría.

Sin hacer hincapié en la complejidad matemática de la Teoría de la Elasticidad, a continuación se presenta una explicación de forma sinóptica de la relación entre la Ley de Hooke y los esfuerzos en un espécimen de suelo: En la mecánica de suelos, la distribución de tensiones es mucho más complicada que en un resorte. La deformación en el caso más general necesita ser descrita mediante una matriz tridimensional (tensor de deformaciones) mientras que los esfuerzos internos en el suelo necesitan ser representados por otra matriz tridimensional (tensor de esfuerzos). Estos dos tensores están relacionados por ecuaciones lineales conocidas por ecuaciones de Hooke, que son las ecuaciones constitutivas que caracterizan el comportamiento de un suelo elástico lineal. Estas ecuaciones tienen la forma general:

$$\sigma_{ij} = \sum_{k,l} C_{ijkl} * \varepsilon_{kl} \quad (\text{Ecuación 40})$$

Donde:

σ_{ij} : es el esfuerzo en la dirección i,j , tensor de esfuerzos.

C_{ijkl} : es la matriz de Factores de Proporcionalidad, nos dan la relación de proporcionalidad, se conocen como “Módulos Elásticos” y describen el comportamiento del cuerpo, expresado en unidades de Presión.

ε_{kl} : es la deformación relativa en la dirección k,l , es una cantidad adimensional, tensor de deformaciones.

El máximo valor del esfuerzo para el que puede emplearse la ley de Hooke en un suelo es conocido como límite de proporcionalidad.

En el caso de un problema unidimensional donde las deformaciones en direcciones perpendiculares a una dirección dada son irrelevantes o se pueden ignorar se tiene que $\sigma = \sigma_{11}$, $\varepsilon = \varepsilon_{11}$ y $C = C_{11}$. Entonces la Ecuación 40, se reduce a:

$$\sigma = C * \varepsilon \quad (\text{Ecuación 41})$$

2.2.3. La relación entre el esfuerzo y la deformación.

La relación entre los esfuerzos y las deformaciones de un sólido idealizado es estudiada por la física por la teoría de la elasticidad, en ingeniería por su parte por resistencia de materiales.

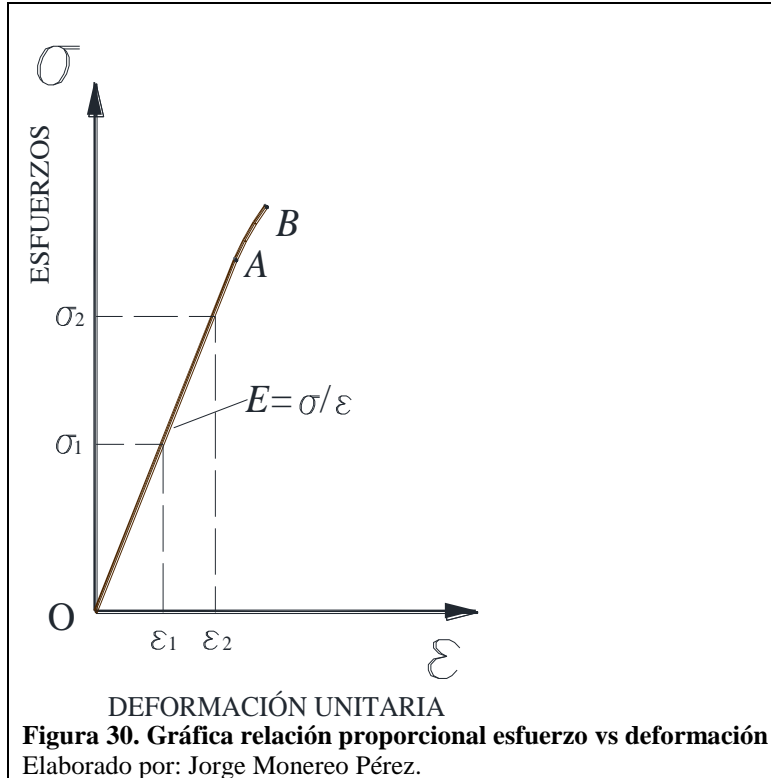
Como cabe esperar cada tipo de material tendrá su propia relación esfuerzo-deformación, y esta dependerá de su estructura molecular. En los suelos depende entre otros de la estructura de sus partículas (panaloide, granular, floculenta, simple, compuesta, “castillo de naipes”, dispersa).

Para establecer esta relación se dibuja en una gráfica por pares de datos, ya que a cada esfuerzo le corresponderá una deformación dada. Consecuentemente, si la estructura del suelo es isótropa y elástica, tendrá un comportamiento lineal, por lo que en cierto intervalo se graficará una línea recta con pendiente positiva.

Generalmente se atribuye un comportamiento mayormente lineal a suelos de grano fino con una graduación uniforme; en arenas densas y arcillas sobreconsolidadas este comportamiento es más evidente, que en arenas sueltas, arcillas ligeramente sobreconsolidadas y normalmente consolidadas.

En la gráfica de la figura 30, se observa que la curva trazada esfuerzo-deformación, aumenta de forma continua, por lo tanto proporcional hasta cierto punto indicado con la letra A denominado límite de proporcionalidad. A partir del punto A, la tendencia comienza a curvarse en la región \overline{AB} , considerándose la zona \overline{OB} zona elástica. Como se puede observar en la figura 30, la pendiente entre los puntos 1 y 2, corresponde a una razón constante que es la misma que gobierna la recta \overline{OA} . Esta

razón es la que gobierna la Ley de Hooke. Por lo que esta zona donde presenta un comportamiento constante se la denomina región elástica, y el punto *B*, límite de elasticidad.



Si se aplica a una probeta de un determinado material, suelo, elástico un incremento de tensiones en una dirección, por la Ley de Hooke se tendrá un incremento de deformación en la misma dirección de valor:

$$\delta \varepsilon_V = \frac{\delta \sigma_V}{E} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Donde:

E : es el Módulo de Elasticidad.

$\delta \varepsilon_V = \Delta L/L$: es la deformación diferencial uniaxial vertical por unidad de longitud.

$\delta \sigma_V$: es el incremento diferencial del esfuerzo vertical.

Si un espécimen no está confinado los incrementos de tensión en una dirección, uniaxial vertical producen deformaciones perpendiculares a dicha dirección, en la probeta de suelo por lo que:

$$\delta\varepsilon_h = -\nu\delta\varepsilon_V = -\nu\frac{\delta\sigma_V}{E} \quad (\text{Ecuación 43})$$

Donde:

$\delta\varepsilon_h = \Delta D/D$: es la deformación diferencial radial horizontal por unidad de longitud.

ν : es el coeficiente de Poisson.

Como se puede observar en la Ecuación 43, el *coeficiente de Poisson* es el factor que relaciona la deformación transversal unitaria con la deformación longitudinal unitaria cuando a una probeta cilíndrica de suelo se le aplica una carga axial. Consecuentemente si se deja de aplicar la fuerza, por lo tanto desaparece el esfuerzo aplicado y el suelo volverá a su estado inicial⁷.

Los valores típicos que presentan las constantes elásticas en diversos tipos de suelos, así como la forma recomendada por diferentes autores para determinarlas a partir de los resultados de ciertos ensayos realizados “in situ” o en laboratorio, se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros elásticos típicos de suelos

Tipo de Suelo	E (MPa)	ν
Arena Suelta	10.5-24.0	0.20-0.40
Arena Media	17.0-27.0	0.25-0.40
Arena Densa	34.5-55.0	0.30-0.45
Arena muy densa	> 60.0	0.30-0.45
Limo arenoso	10.5-17.5	0.20-0.40
Arena y Grava	69.0-175.0	0.15-0.35
Arcilla blanda	2.0-5.0	
Arcilla media	5.0-10.0	0.20-0.50
Arcilla rígida	10.0-24.0	

Fuente: Adaptado de (Universidad Alfonso X, s.f.)

Thomas Young (1773-1829), definió su módulo de elasticidad (E), la constante de proporcionalidad entre tensiones y deformaciones, sin que estuvieran definidos los conceptos de tensión y deformación en su época.

⁷ Téngase en cuenta que es un sólido idealizado, isótropo.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Ecuación 44})$$

Donde:

E : es el Módulo de Elasticidad.

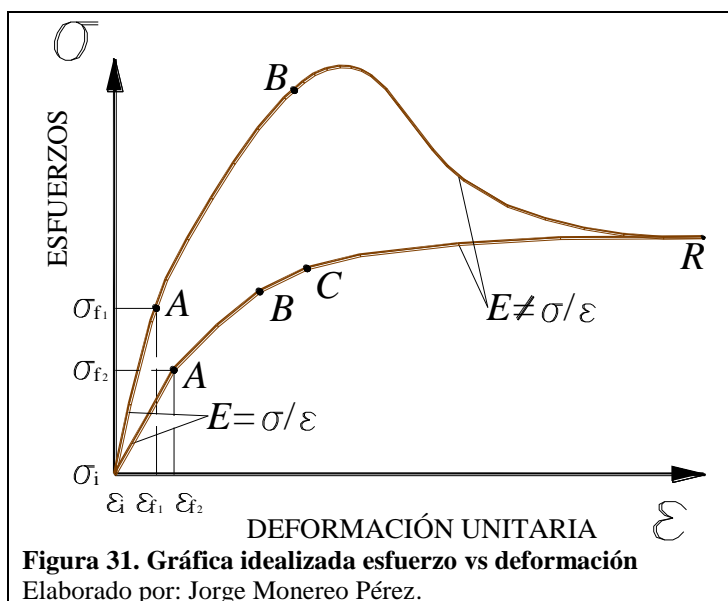
ε : es la deformación uniaxial por unidad de longitud.

σ : es el esfuerzo.

La razón elástica denominada Módulo de Elasticidad (E), está determinada por la estructura molecular del suelo.

La distancia entre las moléculas de un suelo no sometido a esfuerzo depende de un equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión, cohesión y ángulo de fricción. Cuando se aplica una carga externa que crea un esfuerzo en el interior del material, las distancias moleculares cambian y el suelo se deforma. Si las moléculas están firmemente unidas entre sí, es decir el grado de cementación o cohesión es alto, la deformación no será muy grande incluso con un esfuerzo elevado. Por lo que el valor del Módulo de deformación será alto.

Por debajo del límite de elasticidad, cuando se deja de aplicar la carga, las moléculas vuelven a su posición de equilibrio y el suelo elástico recupera su forma. Más allá del límite de elasticidad, la fuerza aplicada altera tanto la disposición de las moléculas que no pueden volver a su posición de partida, y el suelo queda permanentemente deformado o se rompe.



La figura 31, representa dos posibles curvas típicas esfuerzo-deformación de un ensayo triaxial de un suelo. Al aplicarle una carga a un suelo presenta una deformación elástica hasta un punto *A*, si se sigue aumentando el esfuerzo aplicado al suelo más allá de un punto *B*, se entra en la zona denominada zona elasto-plástica, donde el material a partir de un punto como puede ser el punto *C*, pierde sus características intrínsecas de recuperación. Al aumentar la carga más allá de *C*, se produce gran aumento de la deformación (incluso si disminuye el incremento de esfuerzo) hasta alcanzar el punto *R*, donde se produce la falla, fractura o ruptura. Desde el origen hasta el punto *B*, se asume que el suelo sufre una deformación elástica, y desde *B* hasta *R*, se dice que el suelo sufre deformación plástica.

2.2.4. Metodologías para determinación del Módulo de Elasticidad en suelos.

El Método de la determinación del Módulo de Elasticidad para ciertos materiales elásticos está bien definido por muchos y diferentes autores como Timoshenko-Goodier (*“Teoría de la Elasticidad”*), sin embargo, para el Módulo de Elasticidad en suelos la literatura técnica es más escasa ya que los suelos guardan una no linealidad por lo general.

Muchos autores que lo mencionan, dan datos al respecto, pero no se precisa, y generalmente se da en términos de estimaciones.

En las especificaciones ASTM, se da una definición, pero no propone un lineamiento concreto. En las especificaciones AASHTO se hace referencia al módulo y ciertas correlaciones.

El denominador común de todos los autores e instituciones del área temática de mecánica de suelos, el Módulo de Elasticidad en suelos se obtiene de las curvas esfuerzo-deformación. Por lo que aun no existiendo una norma específica al caso, se puede obtener de la conjunción de metodologías en las que existe curvas esfuerzo-deformación (o en su defecto esfuerzo máximo versus deformación unitaria) y las metodologías del cálculo gráfico de módulo de deformación.

2.2.4.1. Métodos de obtención de las curvas esfuerzo-deformación en suelos.

Hay que destacar, dos enfoques importantes para evaluar las curvas esfuerzo-deformación en suelos, ya sea directa o indirectamente se debe obtener los esfuerzos de un suelo sometido a cargas y su deformación unitaria respecto a estos:

- Métodos empíricos. Basados en observaciones in situ del comportamiento de la deformación del suelo frente a esfuerzos inducidos y ensayos “in situ”, consistentes en la evaluación cualitativa de los parámetros en cuestión a partir de un ensayo que representa una analogía con el comportamiento del terreno previsto en la situación de servicio. Algunas de las metodologías correspondientes se encuentran en: ensayo presiométrico (ASTM D 4719), ensayos de carga superficial (ASTM D 1194).
- Métodos analíticos. Basados en la determinación en laboratorio de las características de resistencia a la compresión de muestras y el uso de análisis de resultados para determinar la magnitud del módulo de deformación. Ensayos de laboratorio, consistentes en la reproducción de las condiciones de servicio del suelo en situación controlada y a pequeña escala (midiendo la respuesta directa del mismo ante una determinada sollicitación) y de la cual se establece la relación directa entre esfuerzos y deformaciones. Usados estos resultados para predecir el comportamiento del suelo. Aunque es una metodología diferente a los métodos empíricos, presentan connotaciones similares. Algunas de las metodologías correspondientes se encuentran en: ensayos de compresión simple (ASTM D 2166), ensayos edométricos (ASTM D 2435), ensayos triaxiales (ASTM D 2850, D 4767, D 7181, D 5311).

2.2.4.2. Métodos de cálculo del módulo de deformación en las curvas esfuerzo-deformación en suelos.

En “*Introducción to Geotechnical Engineering*” de Holtz y Kovacs, 1981, se indica que se puede determinar el módulo de deformación en un suelo a partir de la pendiente de una curva de esfuerzo-deformación obtenido a partir de una prueba triaxial no drenada (paginas 559-562).

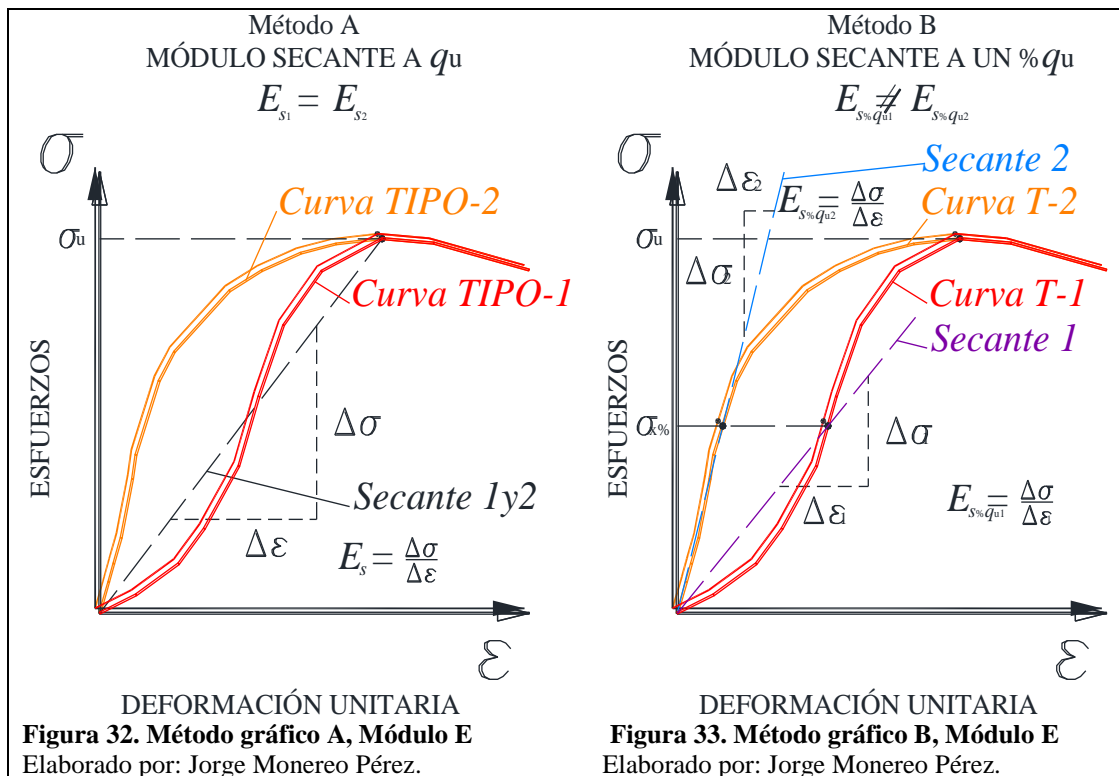
En el “*Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería civil*”, (Joseph E. Bowles, 1978), en el capítulo de Compresión Inconfinada, se indica que se calcule el módulo secante desde el origen hasta el 0.25, el 0.5 y el 0.75 de q_u , además el módulo tangente inicial, al inicio de la curva. En la misma publicación en el capítulo Ensayo Triaxial (sin medición de presión de poros) para ensayos U.U. y suelos cohesivos, se indica que se calcule el módulo tangente a la mitad del esfuerzo último (o pico) y el módulo secante desde el origen hasta la mitad del esfuerzo último. En la misma publicación en el capítulo Ensayo Triaxial (con medición de presión de poros), se indica que se calcule el módulo tangente inicial y el módulo secante desde el origen hasta el 50% del esfuerzo último.

Patrick J. Fox, en “*The Civil Engineering Handbook*” para suelos define que el módulo tangente inicial, se determina a partir de la pendiente inicial de la curva, y el módulo secante se utiliza a veces en lugar de módulo tangente inicial cuando no hay linealidad severa en la relación esfuerzo-deformación en el rango de tensiones de interés. En general, el módulo secante sería tomado en un cierto nivel de esfuerzo predeterminado, tal como el 50% de la diferencia del esfuerzo último.

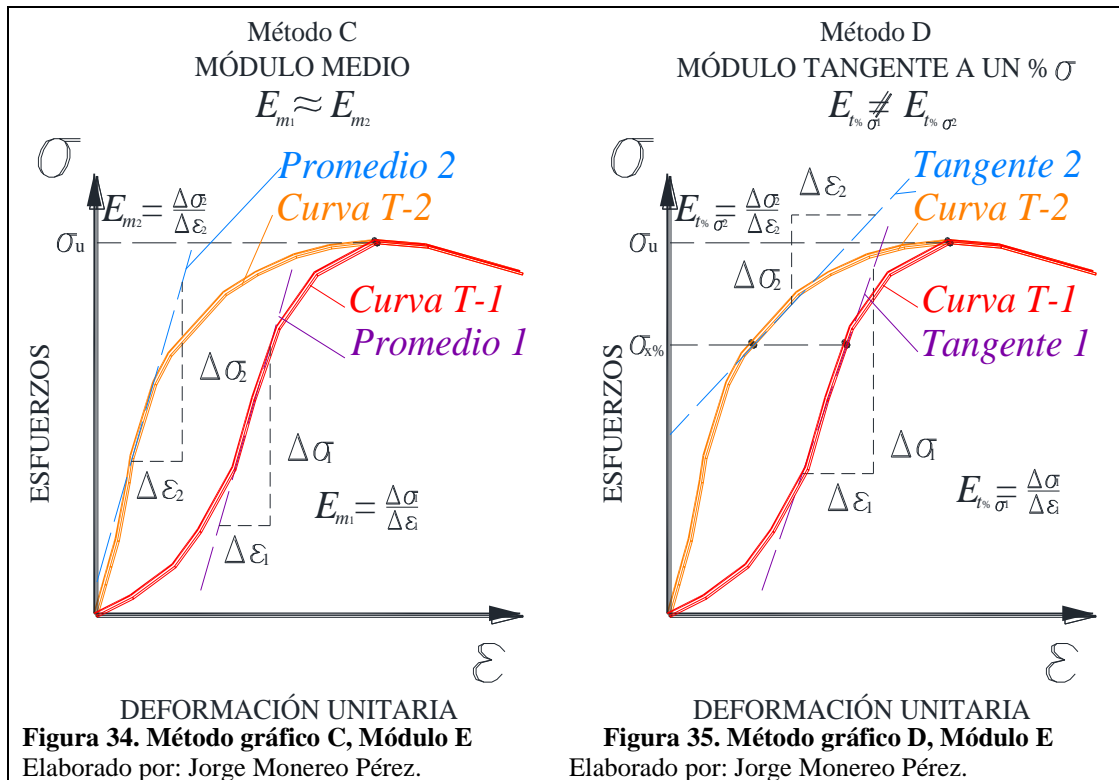
En “*Ingeniería Geológica*” de González Vallejo L. (2002), para rocas, se indica el módulo medio como pendiente de la porción recta de la curva, el módulo tangente como pendiente de la curva en un punto determinado, y el módulo secante entre el origen y la resistencia pico.

En rocas las normas ASTM D 3148, D 5407 y D 7012, indican tres métodos para la obtención del módulo elástico: el primero es el módulo tangente medido a un porcentaje del esfuerzo último; el segundo es el módulo medio sobre la porción pseudo-lineal de la curva esfuerzo-deformación; y, el tercero es el módulo secante medido a un porcentaje del esfuerzo último, como por ejemplo el 50%.

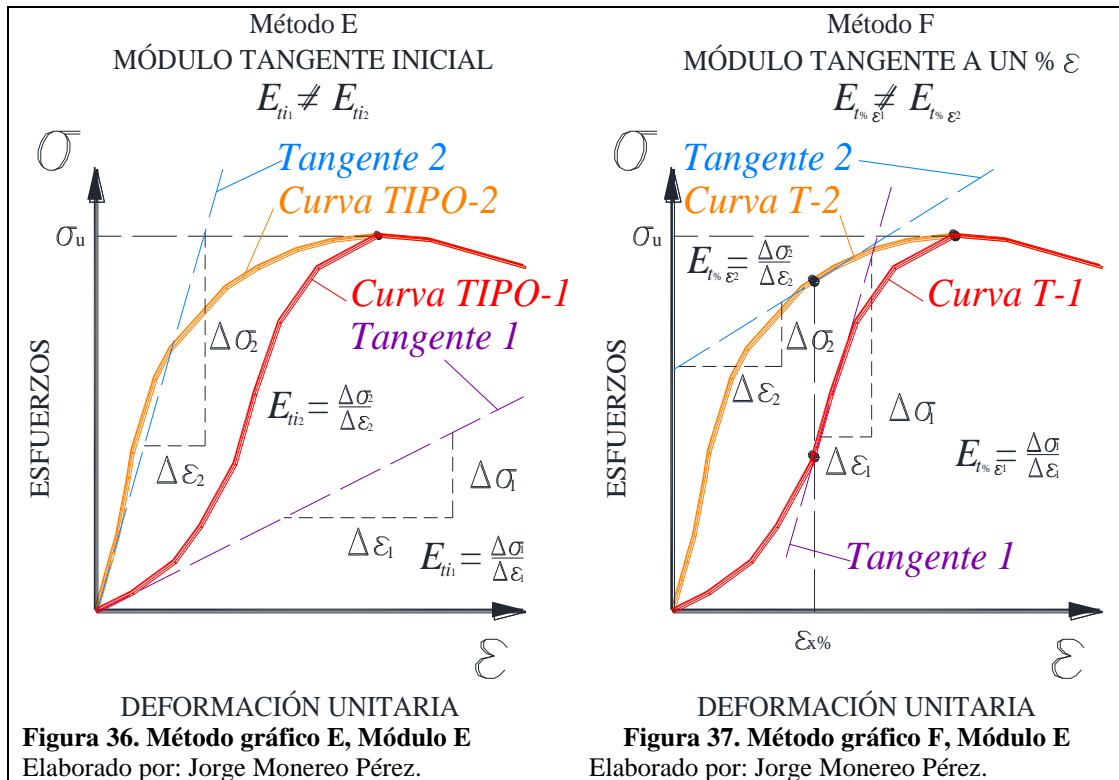
Diferentes cálculos del Módulo de Elasticidad pueden determinarse gráficamente de las siguientes formas a partir de las curvas esfuerzo-deformación, presentados en las figuras 32, 33, 34, 35, 36 y 37.



- **Método gráfico A**, figura 32; Módulo secante E_s , pendiente de la recta que une el origen con la resistencia última. Este método se utiliza para un resultado normalmente conservador, también cuando se tiene solo información de última resistencia y su desplazamiento asociado. *Análisis y Discusión:* Al observar dos posibles curvas de esfuerzo-deformación de un suelo se acepta que tiene el mismo módulo, es decir se comportan igual ante una misma sollicitación, por lo que ciertamente este método no optimiza el resultado, es decir, se pierde gran información del comportamiento.
- **Método gráfico B**, figura 33; Módulo secante E_s , pendiente de la recta que une el origen con cierto porcentaje de la resistencia última, como 25%, 50%, 75%. Se utiliza para un resultado normalmente sobre suelos que su curva esfuerzo-deformación se ajuste a una función hiperbólica (Curva T-2) como la mayoría de las arcillas, también cuando se tiene solo información de cohesión aparente no drenada y su desplazamiento asociado. *Análisis y Discusión:* Al estar la secante vinculado al origen, solo si la curva de esfuerzo-deformación sigue la trayectoria hiperbólica desde el origen (Curva T-2), ofrece resultados de estimación adecuados, sin embargo, si se produce una curva diferente (Curva T-1) se pierde información del comportamiento.



- **Método gráfico C**, figura 34; Módulo medio o promedio E_m , pendiente de la porción pseudo-recta de la curva en el tramo en el que el suelo tiene un comportamiento pseudo-isotrópico. *Análisis y Discusión:* Al observar dos posibles curvas de esfuerzo-deformación de un suelo se puede teorizar que en cierto intervalo las partículas que lo componen tendrán un comportamiento similar independiente de su estado inicial, por lo que para la mayoría de análisis en suelos es una condición donde se minimiza el posible error producido por diferentes tipos de curvas. No se ajusta al límite pero se asemeja a la mayor parte del comportamiento.
- **Método gráfico D**, figura 35; Módulo tangente E_t , pendiente de la línea recta tangente a la curva en un punto de cierto porcentaje de la resistencia última, como 25%, 50%, 75%. Valido para suelos realmente homogéneos, es decir que se tienen parámetros elásticos de la misma forma en todos los puntos en una región de un cuerpo. *Análisis y Discusión:* Este criterio depende de bastantes variables en el suelo, y de la decisión del punto tangente escogido. Si las curvas presentan diferentes aspectos en su relación debidos a configuración estructural del suelo, induce a errores significativos.



- **Método gráfico E**, figura 36; Módulo tangente inicial E_{ti} , pendiente de la línea recta tangente a la curva en el tramo inicial desde el origen. Se utiliza para un resultado normalmente sobre suelos que su curva esfuerzo-deformación se ajuste a una función hiperbólica (Curva T-2). *Análisis y Discusión:* Al estar la tangente vinculado al origen, solo si la curva de esfuerzo-deformación sigue la trayectoria hiperbólica desde el origen, ofrece resultados de estimación ya que se ajusta a la parte pseudo-proporcional, en caso contrario el error cometido frente al comportamiento pseudo-elástico del suelo pierde gran información.
- **Método gráfico F**, figura 37; Módulo tangente E_{te} , pendiente de la línea recta tangente a la curva en un punto de cierto porcentaje de la deformación unitaria última, como 25%, 50%, 75%. Modelo no valido, desde el enfoque causa-efecto, en la determinación del módulo de elasticidad por su gran incertidumbre. Validez en investigaciones inducidas a obtener un resultado cierto, con exhaustivo control de las variables. *Análisis y Discusión:* Al igual que el Método D este criterio depende de bastantes variables en el suelo. Si las curvas presentan diferentes aspectos en su relación debido a configuración estructural del suelo, induce a demasiados errores.

En función de los análisis y discusiones planteadas, la presente línea de investigación está fundamentada sobre el Método Analítico, mediante el ensayo triaxial U.U. (ASTM D2850-03a (2007) “Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils”) y el cálculo por el Método gráfico C para obtener el módulo medio. Por medio de los resultados de una muestra representativa de ensayos triaxiales en cangahua, se determina el Módulo de Deformación en cangahua, ya que se espera obtener los resultados más ajustados posible al comportamiento intrínseco del suelo sin estimarlos de forma conservadora, además existe más homogeneidad en los resultados.

En las tablas 8, 9 y 10, se han recogido correlaciones existentes, de uso generalizado, obtenidas por las citadas metodologías.

Tabla 8. Correlaciones módulo de Young

$E=250 \text{ a } 500^* c_u$	Arcillas normalmente consolidadas
$E=750 \text{ a } 1000^* c_u$	Arcillas sobreconsolidadas

Fuente: Adaptado de (Universidad Alfonso X, s.f.)

Tabla 9. Correlaciones módulo de elasticidad en condiciones drenadas

$E'=200 \text{ a } 300^* c_u$	Suelos Blandos
$E'=125^* c_u$	Para arcillas muy sobreconsolidadas
$E'=10^* q_c$	Válida sólo para arcillas

Fuente: Adaptado de (Universidad Alfonso X, s.f.)

Tabla 10. Correlaciones del módulo de elasticidad en condiciones no drenadas

$E_u= 1000 \text{ a } 1200^* c_u$	Suelos Blandos
$E_u= 2 - 5 \text{ MPa}$	Arcillas Blandas
$E_u= 4 - 8 \text{ MPa}$	Arcillas medias
$E_u= 7 - 20 \text{ MPa}$	Arcillas firmes
$E_u= 30 - 40 \text{ MPa}$	Arena arcillosa
$E_u= 10 - 25 \text{ MPa}$	Arena suelta
$E_u= 50 - 90 \text{ MPa}$	Arena densa
$E_u= 100 - 200 \text{ MPa}$	Arena muy densa

Fuente: Adaptado de (Universidad Alfonso X, s.f.)

CAPÍTULO 3

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Validación estadística de los datos obtenidos: Módulo de Deformación en la cangahua

Según las teorías investigadas, se ha obtenido los datos iniciales⁸ del *Módulo elástico medio* (con la metodología expuesta en el subcapítulo 3.2.4. Método gráfico C) de los 44 ensayos triaxiales (tres especímenes por ensayo) con un total de 132 especímenes que consta la muestra. A partir de los datos iniciales se ha realizado una depuración de los datos, en función de los casos atípicos⁹ ordenados por el esfuerzo de confinamiento (σ_3) al que se han sometido las muestras en los ensayos. Los criterios de reducción de casos se encuentran ampliamente expuestos en los anexos.

Para caracterizar el módulo se ha segmentado por el esfuerzo de confinamiento, a la vez que se ha trabajado con una reducción de casos para obtener parámetros con menos distorsión. De los 44 especímenes iniciales, de cada esfuerzo de confinamiento, y según los criterios de reducción, en la tabla 11 se puede observar el resumen del procesamiento de los datos válidos en que se basa la investigación.

Tabla 11. Resumen del procesamiento de los casos, Módulo de Deformación de la cangahua

ESFUERZO DE CONFINAMIENTO, σ_3		Casos					
		Válidos		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Módulo elástico medio [MPa]	A $\sigma_3= 50$ KPa	19	100,0%	0	,0%	19	100,0%
	B $\sigma_3=100$ KPa	16	100,0%	0	,0%	16	100,0%
	C $\sigma_3=200$ KPa	16	100,0%	0	,0%	16	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Se han procesado los casos depurados¹⁰, tabla 12, con el programa computacional SPSS¹¹, para establecer los estadísticos descriptivos del Módulo de Deformación de la cangahua.

⁸ Ver Anexo 1.

⁹ Ver Anexo 2, 3 y 4.

¹⁰ Ver Anexo 5.

¹¹ Programa estadístico de la IBM para trabajar con grandes bases de datos.

Tabla 12. Resumen de los casos válidos, Módulo de Deformación de la cangahua

Código	Esfuerzo Desviador [KPa]	Esfuerzo de Confinamiento [KPa]	Esfuerzo Máximo [KPa]	Ángulo de Fricción [°]	Cohesión [KPa]	Módulo elástico medio [MPa]
11A	397.4	50.1	447.5	28.60	91.84	59.29
11B	497.7	99.3	597.0	28.60	91.84	114.17
11C	676.4	201.0	877.4	28.60	91.84	114.61
13A	288.5	50.0	338.5	22.68	75.90	37.54
13B	357.2	100.3	457.5	22.68	75.90	70.57
13C	478.3	200.4	678.7	22.68	75.90	69.07
15A	274.4	50.0	324.4	34.64	40.33	37.92
16A	505.6	50.4	556.0	30.98	114.38	45.12
22A	360.3	49.8	410.1	29.61	77.66	48.57
22B	469.0	100.4	569.4	29.61	77.66	116.56
22C	657.2	200.9	858.1	29.61	77.66	140.58
24A	222.1	49.3	271.4	24.11	52.28	35.36
24B	312.4	100.8	413.2	24.11	52.28	48.86
24C	433.9	200.5	634.4	24.11	52.28	83.69
25A	328.6	50.4	379.0	31.11	65.33	35.80
25B	462.0	99.9	561.9	31.11	65.33	119.47
25C	654.8	200.9	855.7	31.11	65.33	114.86
26A	244.4	53.0	297.4	27.87	46.46	28.87
26B	334.8	100.3	435.1	27.87	46.46	45.24
26C	504.9	200.5	705.4	27.87	46.46	66.99
27A	248.7	50.3	299.0	25.82	53.91	28.23
27C	480.2	200.0	680.2	25.82	53.91	79.45
31A	397.9	50.3	448.2	29.49	88.04	27.17
31B	499.0	100.5	599.5	29.49	88.04	63.39
31C	689.1	200.1	889.2	29.49	88.04	75.86
52A	202.8	49.3	252.1	28.29	37.22	24.39
52B	323.6	100.8	424.4	28.29	37.22	56.99
52C	479.6	200.7	680.3	28.29	37.22	79.08
61A	333.2	49.9	383.1	27.02	79.64	34.90
61B	444.3	100.9	545.2	27.02	79.64	91.26
61C	587.1	200.1	787.2	27.02	79.64	92.40
63A	385.2	50.1	435.3	29.09	87.75	32.34
63B	501.8	100.7	602.5	29.09	87.75	72.92
63C	675.5	201.7	877.2	29.09	87.75	107.46
64A	256.5	50.1	306.6	30.23	46.31	15.36
64B	375.6	100.9	476.5	30.23	46.31	54.95
64C	564.0	200.4	764.4	30.23	46.31	89.42
72A	478.3	50.0	528.3	32.38	101.45	93.22
72B	608.2	99.9	708.1	32.38	101.45	123.35
73A	387.6	49.8	437.4	29.09	88.81	35.38
73B	507.5	101.1	608.6	29.09	88.81	91.38
73C	674.7	199.7	874.4	29.09	88.81	86.73
74A	395.5	50.9	446.4	31.91	79.34	82.52
74B	514.9	99.2	614.1	31.91	79.34	96.95
74C	731.1	199.6	930.7	31.91	79.34	141.11
75A	411.9	50.9	462.8	31.34	90.57	61.85
75B	576.0	100.5	676.5	31.34	90.57	58.09
75C	742.0	200.5	942.5	31.34	90.57	92.15
76A	202.4	50.6	253.0	21.72	49.89	31.05
76C	380.6	200.7	581.3	21.72	49.89	54.71
78B	260.2	99.9	360.1	22.60	43.70	47.99

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Como estadísticos descriptivos del Módulo de Deformación de la cangahua se presenta en la tabla 13: la media aritmética, la mediana, la media truncada o recortada al 5 % (media aritmética calculada eliminando el 5 % de los casos con valores más pequeños y el 5 % de los casos con valores más grandes con el objetivo obtener una media menos sensible a la presencia de valores extremos), el intervalo de confianza para la media, el error típico de la media, la varianza, la desviación típica, el valor mínimo, el valor máximo, la amplitud, la amplitud intercuartílica, los índices de asimetría y curtosis, y los errores típicos de los índices de asimetría y curtosis.

Tabla 13. Descriptivos, Módulo de Deformación de la cangahua

ESFUERZO DE CONFINAMIENTO, σ_3				Estadístico	Error típico
Módulo elástico medio [MPa]	A $\sigma_3=50\text{KPa}$	Media		41,8359	4,53660
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	32,3048	
			Límite superior	51,3669	
		Media recortada al 5%		40,4525	
		Mediana		35,3806	
		Varianza		391,034	
		Desviación típica		19,77458	
		Mínimo		15,36	
		Máximo		93,22	
		Rango		77,86	
		Amplitud intercuartil		19,6938	
		Asimetría		1,458	,524
		Curtosis		1,851	1,014
	B $\sigma_3=100\text{KPa}$	Media		80,1348	6,81398
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	65,6111	
			Límite superior	94,6584	
		Media recortada al 5%		79,5198	
		Mediana		71,7467	
		Varianza		742,885	
		Desviación típica		27,25592	
		Mínimo		47,99	
		Máximo		123,35	
		Rango		75,36	
		Amplitud intercuartil		54,1771	
		Asimetría		,424	,564
		Curtosis		-1,449	1,091
	C $\sigma_3=200\text{KPa}$	Media		93,0101	6,21091
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	79,7719	
			Límite superior	106,2483	
		Media recortada al 5%		92,4654	
		Mediana		88,0736	
		Varianza		617,206	
		Desviación típica		24,84363	
		Mínimo		54,71	
		Máximo		141,11	
		Rango		86,40	
		Amplitud intercuartil		36,1522	
		Asimetría		,713	,564
		Curtosis		-,030	1,091

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Los resultados recogen el error típico del índice de asimetría, el cual permite tipificar el valor del índice de asimetría e interpretarlo como una puntuación z con distribución aproximadamente $N(0, 1)$. Índices tipificados mayores que 1,96 en valor absoluto permiten afirmar que existe asimetría (positiva o negativa).

La curtosis positiva indica que en las colas de la distribución hay acumulados más casos que en las colas de una distribución normal, a la inversa que la curtosis negativa. Los índices de curtosis próximos a cero indican semejanza con la curva normal. Los resultados también recogen el error típico del índice de curtosis, el cual puede utilizarse para tipificar el valor del índice de curtosis y poder interpretarlo como una puntuación z distribuida aproximadamente $N(0, 1)$. Índices mayores que 1,96 en valor absoluto permiten afirmar que la distribución se aleja de la distribución normal.

En la tabla 14 se observan los Estimadores Robustos Centrales¹² que son estimadores de tendencia central basados en el método de máxima verosimilitud. Un estimador robusto central o estimador-M no es más que una media ponderada en la que los pesos asignados a los casos dependen de la distancia de cada caso al centro de la distribución: los casos centrales reciben un peso de 1 y los demás valores reciben un peso tanto menor cuanto más alejados se encuentran del centro.

Tabla 14. Estimadores-M, Módulo de Deformación de la cangahua

ESFUERZO DE CONFINAMIENTO, σ_3		Estimador-M de Huber(a)	Biponderado de Tukey(b)	Estimador-M de Hampel(c)	Onda de Andrews(d)
Módulo elástico medio [MPa]	A $\sigma_3 = 50$ KPa	36,4949	34,0745	35,6421	34,0272
	B $\sigma_3 = 100$ KPa	76,3250	77,4799	78,4152	77,4940
	C $\sigma_3 = 200$ KPa	89,5780	88,1700	90,5983	88,1700

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. **a-** La constante de ponderación es 1,339; **b-** La constante de ponderación es 4,685; **c-** Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500; **d-** La constante de ponderación es $1,340 \cdot \pi$.

Al igual que ocurre con la media truncada, los estimadores-M son menos sensibles que la media aritmética a la presencia de valores extremos. Por tanto, cuando las distribuciones son muy asimétricas, es preferible utilizar como índices de tendencia central, en lugar de la media aritmética, los estimadores-M.

¹² Puede encontrarse una descripción detallada de estos estimadores en: <http://en.wikipedia.org/wiki/M-estimator>

Existen varios estimadores-M que difieren entre sí por la forma concreta de asignar pesos a los casos. El procedimiento incluye cuatro de estos estimadores: Huber, Andrew, Hampel y Tukey¹³.

En la tabla 15 se muestra los percentiles¹⁴ 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95 calculados con el método Haverage, que consiste en asignar al percentil buscado el valor que ocupa la posición

$$i = p (n + 1) \quad (\text{Ecuación 45})$$

Cuando los casos están ordenados de forma ascendente; p se refiere a la proporción de casos que acumula el percentil buscado (por ejemplo, el percentil 40 acumula una proporción de casos de 0,40), y n se refiere al tamaño de la muestra. Si el valor de i no es un número entero, el valor del percentil se obtiene por interpolación:

$$X_i(1 - d) + X_{i+1}(d) \quad (\text{Ecuación 46})$$

Donde:

X_i : se refiere al valor que ocupa la posición correspondiente a la parte entera de i , y

d : se refiere a la parte decimal de i .

Tabla 15. Percentiles, Módulo de Deformación de la cangahua

ESFUERZO DE CONFINAMIENTO, σ_3			Percentiles						
			5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	Módulo elástico medio [MPa]	A $\sigma_3= 50$ KPa	15,35	24,39	28,87	35,38	48,56	82,52	.
		B $\sigma_3=100$ KPa	47,98	48,59	55,68	71,74	109,86	120,63	.
		C $\sigma_3=200$ KPa	54,71	63,30	76,66	88,07	112,81	140,73	.
Bisagras de Tukey	Módulo elástico medio [MPa]	A $\sigma_3= 50$ KPa			29,96	35,38	46,84		
		B $\sigma_3=100$ KPa			56,12	71,74	105,55		
		C $\sigma_3=200$ KPa			77,47	88,07	111,03		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Los resultados también muestran las *bisagras* de Tukey¹⁵: una versión distinta de los clásicos cuartiles. La primera bisagra (similar al percentil 25) es el valor que ocupa la posición intermedia entre la mediana y el valor más pequeño de la distribución; la segunda bisagra es la mediana; la tercera bisagra (similar al percentil 75) es el valor que ocupa la posición intermedia entre la mediana y el valor más grande de la distribución.

¹³ Puede encontrarse una descripción detallada de estos estimadores en:

http://en.wikipedia.org/wiki/Redescending_M-estimator ; <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/zhang/INRIA/Publis/Tutorial-Estim/node24.html#SECTION00010400000000000000>

¹⁴ Puede encontrarse una descripción detallada en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Percentile>

¹⁵ Puede encontrarse una descripción detallada en:

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section4/prc471.htm>

Los procedimientos estadísticos expuestos se apoyan en dos supuestos básicos: la *normalidad*, tabla 16, y *homocedasticidad* u *homogeneidad de varianzas*, tabla 17.

Tabla 16. Pruebas de normalidad, Módulo de Deformación de la cangahua

ESFUERZO DE CONFINAMIENTO, σ_3		Kolmogorov-Smirnov(a) ¹⁶			Shapiro-Wilk ¹⁷		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Módulo elástico medio [MPa]	A $\sigma_3 = 50$ KPa	,263	19	,001	,847	19	,006
	B $\sigma_3 = 100$ KPa	,168	16	,200(*)	,882	16	,041
	C $\sigma_3 = 200$ KPa	,197	16	,097	,933	16	,268

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. (*)- Este es un límite inferior de la significación verdadera; a- Corrección de la significación de Lilliefors.

La *normalidad* se refiere a que las muestras con las que se trabajó proceden de poblaciones normalmente distribuidas (se rechaza la hipótesis de normalidad cuando *Sig.* = 0,00), y *homocedasticidad* u *homogeneidad de varianzas* (se rechaza la hipótesis de homogeneidad cuando *Sig.* < 0,05) La prueba de Levene lleva a que las varianzas son homogéneas ya que existe nivel de significación.

Tabla 17. Prueba de homogeneidad de la varianza, Módulo de Deformación de la cangahua

		Estadístico de Levene ¹⁸	gl1	gl2	Sig.
Módulo elástico medio [MPa]	Basándose en la media	2,214	2	48	,120
	Basándose en la mediana.	1,775	2	48	,180
	Basándose en la mediana y con gl corregido	1,775	2	47,914	,180
	Basándose en la media recortada	2,284	2	48	,113

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

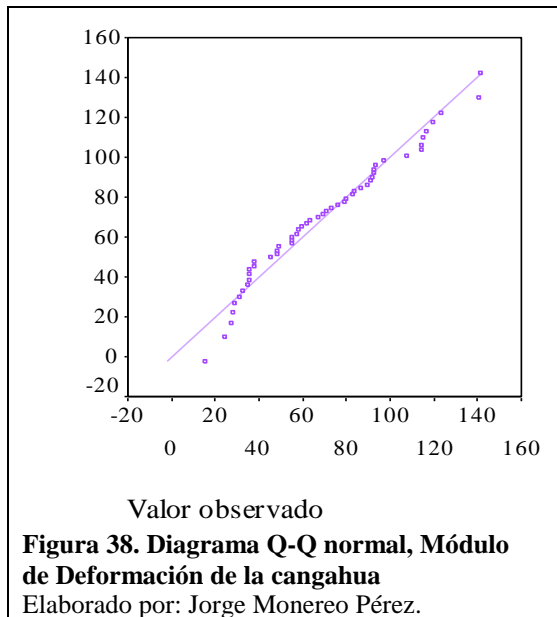
En un gráfico *Q-Q normal*, figura 38, cada valor observado (Y_i) es comparado con la puntuación típica NZ_i que teóricamente le correspondería a ese valor en una distribución normal estandarizada. En el eje de abscisas están representados los valores observados ordenados desde el más pequeño al más grande (Y_i); en el de ordenadas están representadas las puntuaciones típicas normales (NZ_i).

Cuando una muestra procede de una población normal, los puntos correspondientes a cada par se encuentran agrupados en torno a la diagonal representada en el diagrama. Las desviaciones de la diagonal indican desviaciones de la normalidad.

¹⁶ Puede encontrarse una descripción detallada en: http://en.wikipedia.org/wiki/Kolmogorov%E2%80%93Smirnov_test

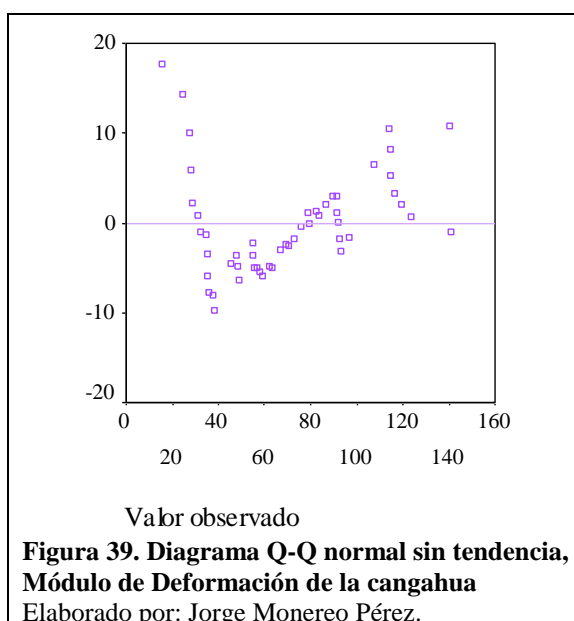
¹⁷ Puede encontrarse una descripción detallada en: http://en.wikipedia.org/wiki/Shapiro-Wilk_test

¹⁸ Puede encontrarse una descripción detallada en: http://en.wikipedia.org/wiki/Levene%27s_test



En el gráfico *Q-Q normal sin tendencia*, figura 39, se relaciona el valor observado con el esperado, tal que se aprecia la desviación entre la puntuación típica de cada valor (Z_i) y la puntuación típica normal (NZ_i). Es decir, muestra las distancias verticales entre cada punto del gráfico *Q-Q normal* y la diagonal. En el eje de abscisas se representan los valores observados (Y_i) y en el de ordenadas el tamaño de las diferencias entre las puntuaciones típicas observadas y las esperadas ($Z_i - NZ_i$).

Si los valores se aglutinan aleatoriamente en la línea horizontal de valor cero, la muestra procederá de una población normal. La presencia de pautas de variación no aleatorias indica desviaciones de la normalidad.



3.1.1. Validación estadística de la metodología: Módulo de Deformación de la cangahua.

La metodología de realización de los ensayos triaxiales no consolidados no drenados, para la obtención de las curvas esfuerzo-desplazamiento, viene definida en la norma *ASTM D2850-03a 2007 “Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils”*. En este sentido el mecanismo de generación de los datos básicos (ensayos triaxiales: aparato y norma usada) tiene *validez externa*, es decir, registra confiablemente los rasgos que se pretenden medir de los especímenes para la investigación.

Para la obtención de los módulos de deformación, se ha establecido el Método C (Módulo elástico medio), expuesto en el subcapítulo 3.2.4.2. Respecto a la *validez*: “*tiene compatibilidad con el conjunto de proposiciones aceptadas como válidas, en el campo que se trata; y el producto, es decir el nuevo conjunto de afirmaciones generadas, con base en un juicio sobre el proceso de elaboración*”, haciendo una valoración crítica de la lógica utilizada, partiendo de las observaciones válidas, y usando el universo de proposiciones aceptadas como válidas. Por lo que la investigación tiene *validez interna*.

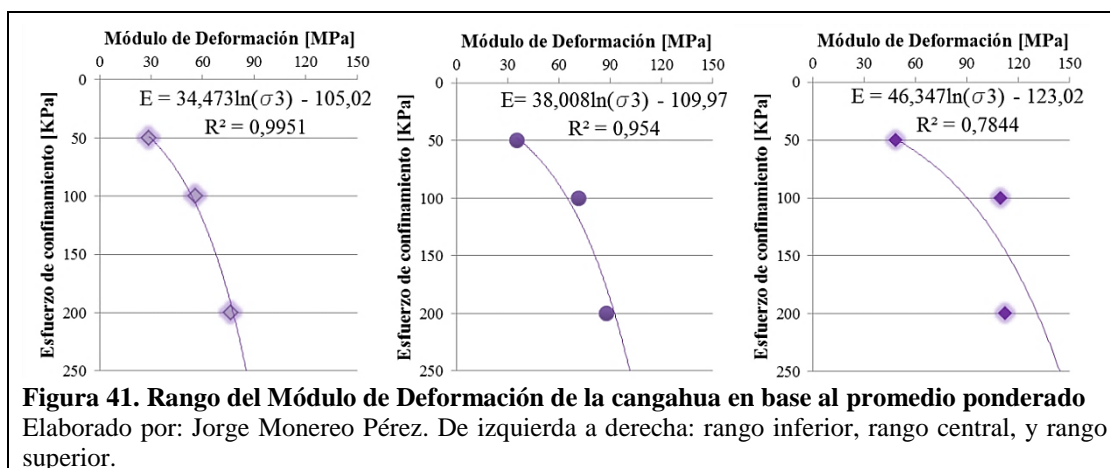
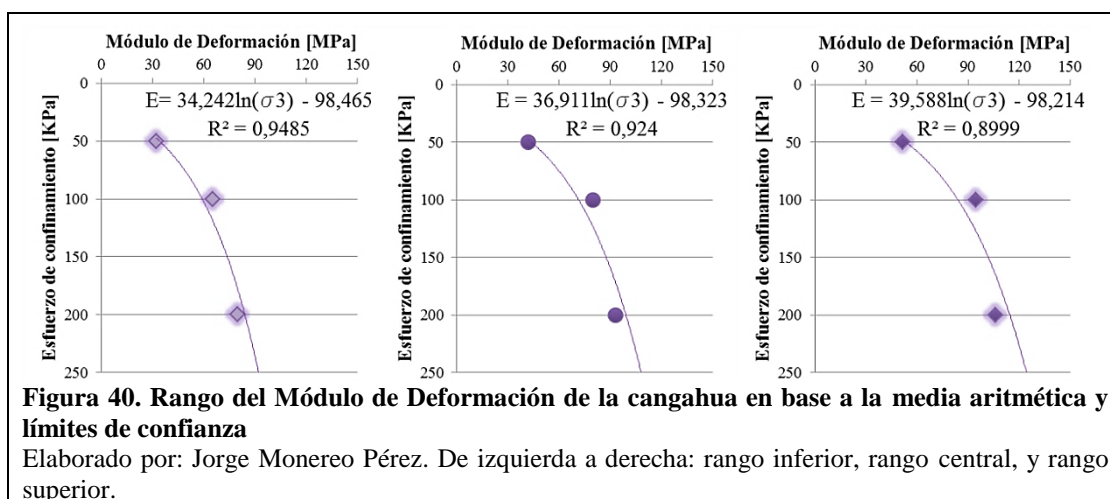
Para valorar la *representatividad de una muestra*, hay dos facetas esenciales: “*el mecanismo mediante el cual se seleccionan las unidades a incluir en la muestra y el número de elementos a incluir en la misma*”. En resumen: la *forma* y la *cantidad*. La *representatividad de la muestra* en cuanto a *forma* sigue un modelo como el muestreo sistemático de intensidad $K_{VARIABLE}$ (véase subcapítulo 2.2.), en el cual se da un ordenamiento a las unidades de la población (la franja de terreno de 11.5 Km de donde se extrajeron las muestras), se selecciona la primera al azar y a partir de ese, se toma una cada $K_{VARIABLE}$ unidades. La *representatividad de la muestra* en cuanto a *cantidad* viene definida por la expresión¹⁹ $n = [3 \bullet \sigma / E]^2$ o también $n = [3 \bullet V / e]^2$ donde $V = \sigma / \mu$ y $e = E / \mu$ (E es el error tolerable, asumido en esta investigación como los límites de confianza), *ASTM E-122-00*. Para el resultado del

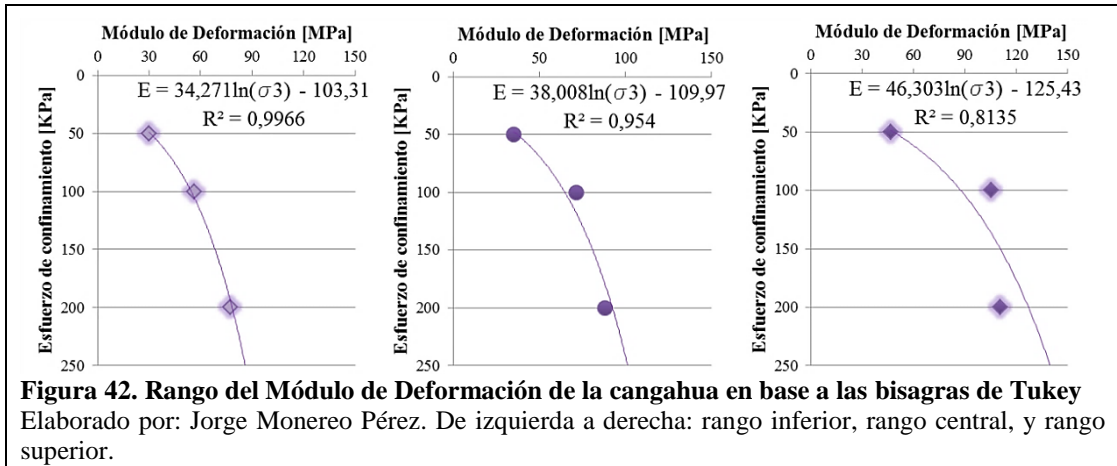
¹⁹ Se utiliza σ para denotar al estadístico: desviación estándar. Se utiliza $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ para denotar: esfuerzos en la muestra.

Módulo de Deformación a diferentes esfuerzos de confinamientos con los datos recogidos en la tabla 13, al aplicar la ecuación $n = [3 \bullet V/e]^2$, se tiene que: $n_{50KPa} = 38.73 \approx 39$; $n_{100KPa} = 31.69 \approx 32$; y $n_{200KPa} = 31.68 \approx 32$. Por lo que la *representatividad de la muestra* sería según la norma citada de 39 ensayos, frente a los 44 ensayos por cada esfuerzo de confinamiento. Por lo que la *muestra es representativa*.

3.2. Rangos del Módulo de Deformación de la cangahua en función del esfuerzo de confinamiento

De los datos estudiados se ha podido extraer las siguientes relaciones del Módulo de Deformación de la cangahua en función del esfuerzo de confinamiento, al que ha estado sometido en los ensayos. Se presentan en las figuras 40, 41 y 42.





Los datos se ajustan con correlación R^2 , entre el 78% en el rango superior y el 100% prácticamente, en el rango inferior.

La regresión subyacente es de tipo logarítmica en base a las comparaciones investigadas. Se presenta las ecuaciones expresadas en función logarítmica insertas en las figuras 40, 41 y 42, donde la variable dependiente es el *Módulo de Deformación* [MPa] y la independiente es el *esfuerzo de confinamiento* [KPa].

3.2.1. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus esfuerzo de confinamiento.

De los Rangos de Módulo de Deformación de cangahua, figuras 40, 41, y 42, se ha escogido la siguiente ecuación para la representación media de dicho módulo, ya que es estimada con parámetros estadísticos más robustos:

$$E_{U.U.}[MPa] = 38.008 * \ln \sigma_3 [KPa] - 109.97 \quad \text{Para: } \sigma_3 \geq 50 KPa \quad (\text{Ecuación 47})$$

Se puede convertir en una ecuación más sencilla, tal que la aproximación no altera significativamente el resultado de la Ecuación 46, y se obtiene una ecuación más sintetizada:

$$E_{mj}[MPa] = 38 * \ln \left(\frac{\sigma_3 [KPa]}{18} \right) \quad \text{Para: } \sigma_3 \geq 50 KPa \quad (\text{Ecuación 48})$$

Esta ecuación se ha definido, con buena correlación, como se puede observar en la tabla 18, a partir de 50 KPa, por lo que antes de 50 KPa no está definida.

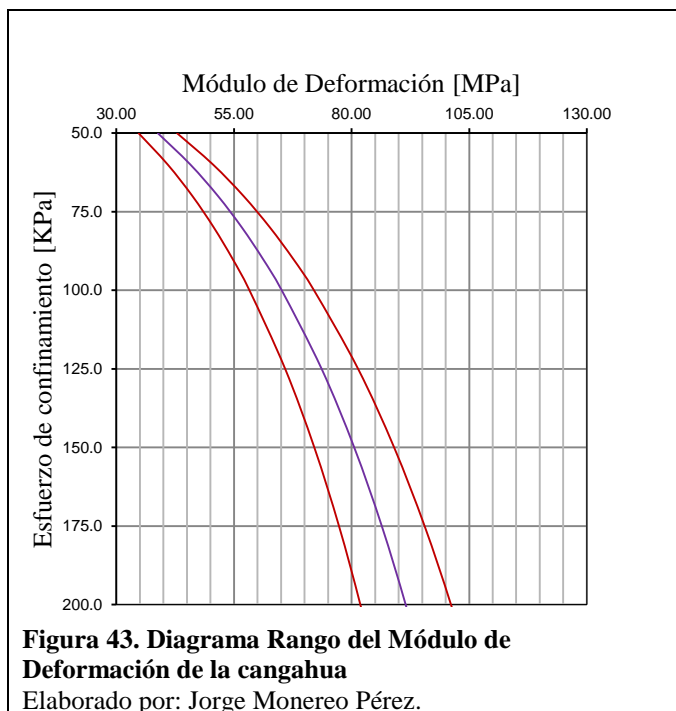
Tabla 18. Módulo de Deformación de la cangahua a diferentes esfuerzos de confinamiento y comparación de la función hallada y la propuesta

Esfuerzo de confinamiento σ_3 [KPa]	50.0	75.0	100.0	125.0	150.0	200.0	300.0
E_{mj} [MPa]* Ecuación 4.3	39	54	65	74	80	91	107
E_{mj} [MPa]* Ecuación 4.4	39	54	65	74	81	92	107

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.*Valores redondeados.

Se ha establecido el rango de Módulo de Deformación de la cangahua con un intervalo de confianza al 95%, a partir de la Ecuación 48 y los rangos inferiores y superiores de las figuras 40, 41, y 42, como sigue:

$$E_{mj} [\text{MPa}] = K * \ln\left(\frac{\sigma_3 [\text{KPa}]}{18}\right), \text{ tal que } K = [38 \mp 4] \text{ Para: } \sigma_3 \geq 50 \text{ KPa (Ecuación 49)}$$



3.3. Comparación entre Módulos de Deformación en diferentes estados de saturación de la cangahua

Para comparar estas variables a continuación se establece la *correlación*²⁰ que puede existir entre ambas, que es la forma numérica en la que la estadística evalúa la relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con respecto de otra variable.

3.3.1. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y Grado de Saturación.

La tabla 19 ofrece la información referida al *coeficiente de correlación de Pearson*²¹. Contiene tres valores referidos al cruce entre cada dos variables: el valor del coeficiente de Pearson; el nivel crítico bilateral que corresponde a ese coeficiente (*Sig.*); y el número de casos válidos (*N*) sobre el que se han efectuado los cálculos.

Tabla 19. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y grado de saturación

		Módulo elástico medio[MPa]	Grado de Saturación [%]
Módulo elástico medio [MPa]	Correlación de Pearson	1	-,163
	Sig. (bilateral)	.	,254
	N	51	51
Grado de Saturación [%]	Correlación de Pearson	-,163	1
	Sig. (bilateral)	,254	.
	N	51	51

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

El nivel crítico permite decidir sobre la hipótesis nula de independencia lineal (o lo que es lo mismo, sobre la hipótesis de que el coeficiente de correlación vale cero en la población). Se rechazó la hipótesis nula de independencia (y se concluyó que existe relación lineal significativa) cuando el nivel crítico sea menor que el nivel de significación establecido (*Sig.* = 0,05). Así, basándonos en los niveles críticos de la tabla 19, se puede afirmar que, la variable *Grado de Saturación* no correlaciona

²⁰ Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores de la otra bajo alguna razón.

²¹ Puede encontrarse una descripción detallada en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_coefficient

paramétricamente con la variable *Módulo elástico medio* (*Sig.* = 0,254). Se rechaza la hipótesis de dependencia cuando *Sig.* > 0,05.

3.3.2. Correlaciones no paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y Grado de Saturación.

La tabla 20 recoge la información referida a los coeficientes *tau-b de Kendall*²² y *rho de Spearman*²³. En esta tabla aparecen tres valores por cada cruce de variables: el valor del coeficiente de correlación; el nivel crítico asociado a cada coeficiente (*Sig.*); y el número de casos sobre el que se ha calculado cada coeficiente. Puesto que estos coeficientes se basan en las propiedades ordinales de los datos, su valor y su nivel crítico no tienen por qué ser los mismos que los obtenidos con el *coeficiente de correlación de Pearson*. Se rechazó la hipótesis nula de independencia (y se concluyó que existe relación lineal significativa) cuando el nivel crítico sea menor que el nivel de significación establecido (*Sig.* = 0,05).

Tabla 20. Correlaciones no paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y grado de saturación

			Módulo elástico medio[MPa]	Grado de Saturación [%]
Tau_b de Kendall	Módulo elástico medio[MPa]	Coeficiente de correlación	1,000	-,107
		Sig. (bilateral)	.	,279
		N	51	51
	Grado de Saturación [%]	Coeficiente de correlación	-,107	1,000
		Sig. (bilateral)	,279	.
		N	51	51
Rho de Spearman	Módulo elástico medio[MPa]	Coeficiente de correlación	1,000	-,169
		Sig. (bilateral)	.	,235
		N	51	51
	Grado de Saturación [%]	Coeficiente de correlación	-,169	1,000
		Sig. (bilateral)	,235	.
		N	51	51

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

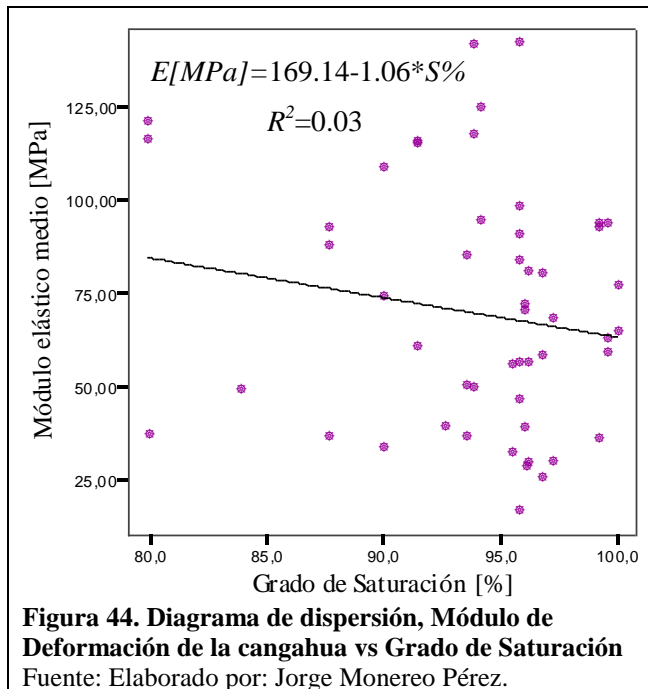
Sin embargo, si se basa en los niveles críticos de la tabla 20, se puede afirmar, al igual que en la correlación paramétrica y con los mismos criterios, que la variable *Grado de Saturación* no correlaciona con la variable *Módulo elástico medio* (*Sig.* = 0,279). Se rechaza la hipótesis de dependencia cuando *Sig.* > 0,05.

²² Puede encontrarse una descripción detallada en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Kendall_tau_rank_correlation_coefficient

²³ Puede encontrarse una descripción detallada en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%27s_rho

3.3.3. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus Grado de Saturación.

De las muestras ensayadas no se ha establecido relaciones significativas entre Módulo de Deformación de la cangahua y su Grado de Saturación. Como se puede observar en la figura 44, no existe correlación significativa.



Con respecto a estos resultados se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- En suelos saturados, la variación de huecos debida a compresión elástica del aire, disolución del aire en el agua y expulsión de aire, no existen.
- El agua se puede considerar prácticamente incompresible

Teniendo en cuenta lo anterior, en suelos saturados, el cambio de volumen que tiene lugar debido a un incremento de esfuerzo principal ($\Delta\sigma_I$) se puede considerar debido únicamente a la expulsión del agua (drenaje). El modo en que se produce el drenaje del suelo depende del gradiente hidráulico al que está sometido, y de su permeabilidad. Por lo tanto, se puede establecer que: en una situación de suelo saturado no hay drenaje, tal como en el ensayo triaxial UU; los cambios de volumen debidos a un cambio de estado tensional son despreciables ($\varepsilon = 0$).

3.4. Relaciones entre el Módulo de Deformación y los indicadores de corte de la cangahua

De los datos muestrales iniciales²⁴ se han sustraído los que no cumplen las siguientes condiciones:

- La cohesión debe ser mayor a 5 KPa (evita valores nulos).
- El ángulo de fricción debe ser mayor a 5 grados (evita valores negativos).
- El esfuerzo de corte debe ser mayor a 50 KPa (evita valores atípicos).

3.4.1. Correlaciones entre Módulo de Deformación de la cangahua y los indicadores de corte: cohesión y ángulo de fricción.

Al igual que la comparación del subcapítulo 4.2, se ha establecido la correlación multilateral que existe entre la terna de variables con los resultados expuestos en la tabla 21.

Tabla 21. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y los indicadores de corte

		Módulo elástico medio[MPa]	Cohesión [KPa]	Ángulo de fricción [°]
Módulo elástico medio[MPa]	Correlación de Pearson	1	,649	,214
	Sig. (unilateral)	.	,000	,008
	N	126	126	126
Cohesión [KPa]	Correlación de Pearson	,649	1	-,013
	Sig. (unilateral)	,000	.	,444
	N	126	126	126
Ángulo de fricción [°]	Correlación de Pearson	,214	-,013	1
	Sig. (unilateral)	,008	,444	.
	N	126	126	126

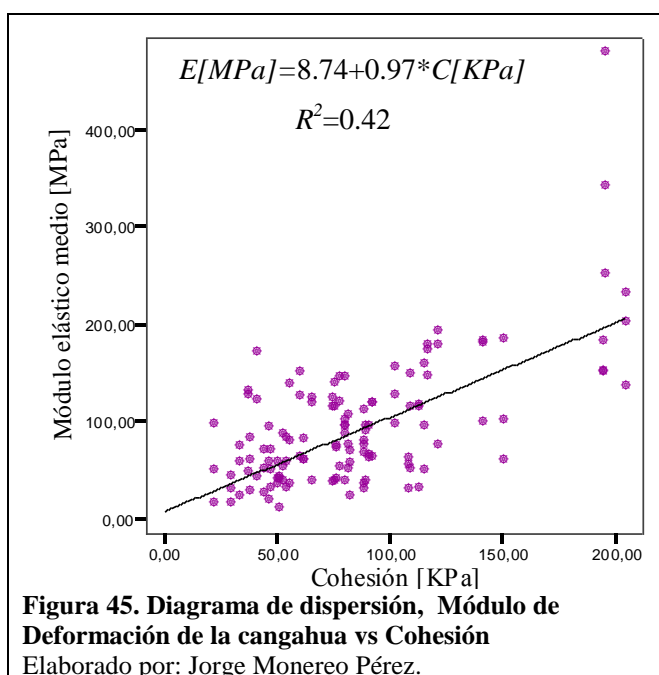
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Como en la correlación paramétrica practicada existe significación de que las variables se correlacionan (la correlación es significativa al nivel Sig. < 0,01), por lo que no cabe estimar la correlación no paramétrica.

²⁴ Ver Anexo 1.

3.4.2. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus indicadores de corte: cohesión y ángulo de fricción.

En el diagrama de dispersión de la figura 45 se puede observar la correlación del módulo elástico medio versus la cohesión. El coeficiente R^2 toma un valor de 0.42, lo cual explica parte de la relación existente entre estas dos variables.



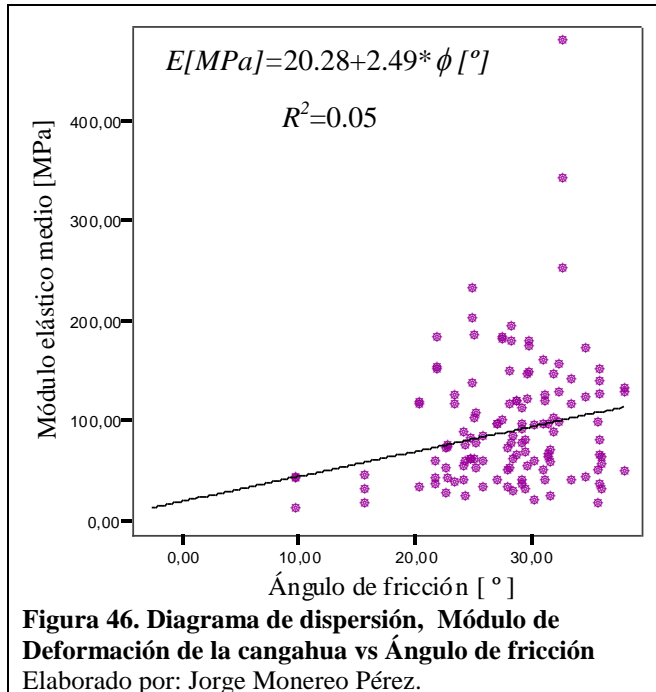
Al existir dicha correlación entre el Módulo de Deformación y la cohesión, se presentan las posibles regresiones y el coeficiente R , en la tabla 22.

Tabla 22. Modelos de regresión del Módulo de Deformación de la cangahua en función de la cohesión

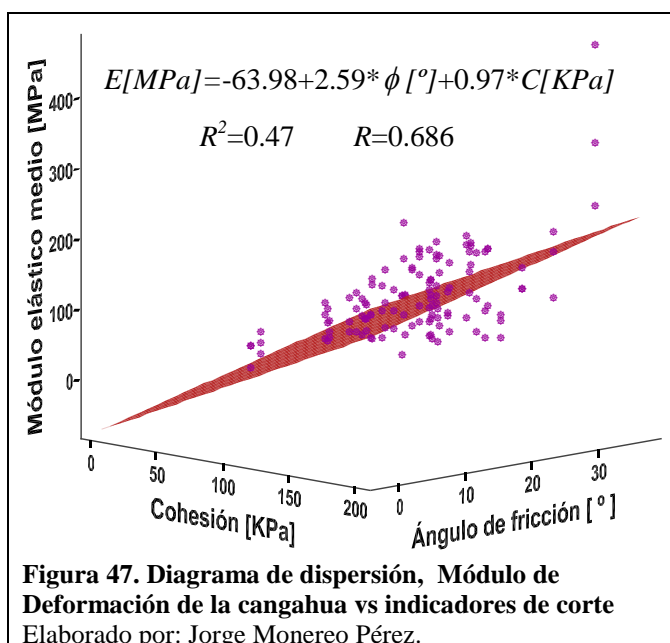
MODELO	ECUACIÓN	B0	B1	B2	B3	Coef.R
Lineal	$B0 + B1 * C$	8,7449	,9698			0,649
Logarítmico	$B0 + B1 * \ln(C)$	-217,43	71,4967			0,565
Inverso	$B0 + B1/C$	141,857	-3345,3			0,439
Cuadrático	$B0 + B1 * C + B2 * C^2$	53,3178	-,0741	,0048		0,675
Cúbico	$B0 + B1 * C + B2 * C^2 + B3 * C^3$	52,5712	-,0448	,0045	9,5E-07	0,675
Potencia	$B0 * C^{B1}$	2,6143	,7689			0,556
Compuesto	$B0 * B1^C$	32,3265	1,0095			0,579
S	$e^{B0 + B1/C}$	4,8899	-40,173			0,484
Crecimiento	$e^{B0 + B1 * C}$	3,4759	,0094			0,579
Exponencial	$B0 * e^{B1 * C}$	32,3265	,0094			0,579

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

En el diagrama de dispersión de la figura 46 se puede observar la correlación del módulo elástico medio versus el ángulo de fricción. El coeficiente R^2 toma un valor de 0.05, lo cual no relaciona estas dos variables.



En el diagrama de dispersión de la figura 47 se puede observar la correlación del módulo elástico medio versus la cohesión y el ángulo de fricción. El coeficiente R^2 toma un valor de 0.47, y el coeficiente R toma un valor de 0.686.



3.4.3. Correlaciones entre Módulo de Deformación de la cangahua y el criterio de falla Mohr - Coulomb.

Según se mostró en el subcapítulo 2.1.1.2, Mohr-Coulomb afirman que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, donde es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal. Este evento es presumible que se produce cuando la muestra pierde su capacidad elástica.

Por tal motivo se ha relacionado con el Módulo de Deformación, con la siguiente expresión, el criterio de falla Mohr - Coulomb:

$$\tau_f = c + \sigma_1 * \tan \phi \quad (\text{Ecuación 50})$$

La correlación entre el Módulo de Deformación de la cangahua y el criterio de falla de Mohr - Coulomb es significativa ($Sig. = 0,000$) según se muestra en la tabla 23.

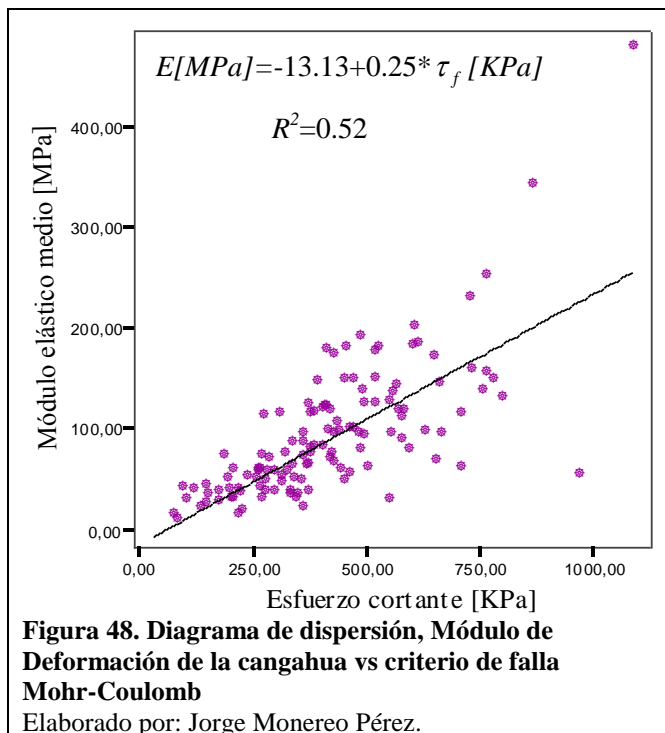
Tabla 23. Correlaciones paramétricas entre Módulo de Deformación de la cangahua y el criterio de falla Mohr-Coulomb

		Módulo elástico medio[MPa]	Esfuerzo cortante [KPa]
Módulo elástico medio[MPa]	Correlación de Pearson	1	,720
	Sig. (unilateral)	.	,000
	N	126	126
Esfuerzo cortante [KPa]	Correlación de Pearson	,720	1
	Sig. (unilateral)	,000	.
	N	126	126

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

3.4.4. Análisis y discusión de resultados: Módulo de Deformación de la cangahua versus criterio de falla Mohr - Coulomb.

Por separado los indicadores de corte tienen una correlación menor que si se relacionan por medio de alguna fórmula. Para lo que se ha aplicado una conocida, el criterio de falla Mohr-Coulomb, figura 48, con el resultado de coeficiente de Pearson de 0.720, que es más significativo que los indicadores de corte por separado.



Al existir dicha correlación entre el Módulo de Deformación y los indicadores de corte (en su forma del criterio de falla Mohr-Coulomb), se ha establecido las posibles regresiones y el coeficiente R asociado, como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Modelos de regresión del Módulo de Deformación de la cangahua en función del criterio de falla Mohr-Coulomb

MODELO	ECUACIÓN	B0	B1	B2	B3	Coef.R
Lineal	$B0 + B1 * \tau$	-13,131	,2480			0,720
Logarítmico	$B0 + B1 * \ln(\tau)$	-403,39	83,4084			0,653
Inverso	$B0 + \frac{B1}{\tau}$	140,222	-16063			0,515
Cuadrático	$B0 + B1 * \tau + B2 * \tau^2$	15,2935	,1056	,0001		0,729
Cúbico	$B0 + B1 * \tau + B2 * \tau^2 + B3 * \tau^3$	-42,041	,5721	-,0009	6,5E-07	0,746
Potencia	$B0 * \tau^{B1}$,1354	1,0594			0,760
Compuesto	$B0 * B1^{\tau}$	23,0779	1,0027			0,721
S	$e^{B0 + B1/\tau}$	5,0123	-238,30			0,699
Crecimiento	$e^{B0 + B1*\tau}$	3,1389	,0027			0,721
Exponencial	$B0 * e^{B1*\tau}$	23,0779	,0027			0,721

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

CONCLUSIONES

En base a lo consignado en la presente investigación y en función del análisis de los resultados se concluye:

- La metodología expuesta, y usada en la presente investigación, valida los resultados además de ser adecuada; ya que tiene *validez externa, validez interna y representatividad de la muestra*, componentes necesarios del método estadístico para la extrapolación de los resultados de la muestra a la población.
- Del análisis estadístico se ha determinado que la variable, Módulo de Deformación de la cangahua, E_{mj} , se ajusta a una distribución normal con la siguiente notación $X \sim N(\mu, \sigma)$, siendo X la variable estudiada, siendo μ la media y σ la desviación típica.
- Para esfuerzos de confinamiento del orden de $\sigma_3=50KPa$ se ha obtenido que la variable E_{mj} se ajusta a la distribución $E_{mj}[MPa] \sim N(41.84, 19.77)$; para esfuerzos del orden de $\sigma_3=100KPa$ se ha obtenido $E_{mj}[MPa] \sim N(80.13, 27.26)$; y para esfuerzos de confinamiento del orden de $\sigma_3=200KPa$ se ha obtenido que $E_{mj}[MPa] \sim N(93.01, 24.84)$.
- Al seguir una distribución normal, se obtiene que en su función de probabilidad se encuentran un 68% de los casos en el rango $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$, en valores: para esfuerzos del orden de $\sigma_3=50KPa$ $[22.07MPa, 61.61MPa]$, para esfuerzos del orden de $\sigma_3=100KPa$ $[52.87MPa, 107.39MPa]$ y para esfuerzos del orden de $\sigma_3=200KPa$ $[68.17MPa, 117.85MPa]$; así mismo un 95% de los casos corresponde al rango $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$.
- Se ha establecido el siguiente rango del Módulo de Deformación de la cangahua en función del esfuerzo de confinamiento (esfuerzo geostático

horizontal del suelo en su estado natural). El rango está definido por $E_{mj}[MPa] = [34 * \ln(\sigma_3[KPa]/18) , 42 * \ln(\sigma_3[KPa]/18)]$, para valores del esfuerzo de confinamiento: $\sigma_3 \geq 50 KPa$.

- Los esfuerzos horizontales en todas las direcciones, σ_3 , son iguales y proporcionales en una magnitud k al esfuerzo vertical²⁵ σ_1 , de tal forma que: $\sigma_3 = k * \sigma_1$, siendo k el coeficiente lateral de presión. Se puede obtener a partir del ángulo de fricción con la siguiente expresión: $k = 1 - \tan \phi$. Por lo tanto el rango del Módulo de Deformación de la cangahua en función del esfuerzo principal (esfuerzo geostático vertical del suelo en su estado natural) será: $E_{mj}[MPa] = [34 * \ln(k * \sigma_1[KPa]/18) , 42 * \ln(k * \sigma_1[KPa]/18)]$.
- La profundidad a la que se encuentre el estado de esfuerzos natural se debe al peso del suelo por encima. Si se considera que el material es isotrópico y que solamente actúan las fuerzas de cuerpo, el esfuerzo vertical²⁶ σ_1 tiene la magnitud: $\sigma_1 = \rho * g * z = \gamma * z$ siendo ρ la densidad, y $\gamma = \rho * g$ el peso unitario del material, generalizando para diferentes estratos superpuestos de suelos: $\sigma_1 = \sum \gamma_i * h_i$.
- Es generalizado y relativamente sencillo la realización de ensayos triaxiales para obtener los parámetros de corte en un suelo. Por lo que en la presente investigación se ha determinado el Módulo de Deformación de la cangahua en función de la cohesión y el ángulo de fricción con un valor del coeficiente $R=0.686$ con la siguiente función lineal $E[MPa] = -63.98 + 2.59 * \phi [^\circ] + 0.97 * C[KPa]$.
- Como alternativa a la conclusión anterior, en la presente investigación se ha incorporado una función para tener en cuenta la profundidad y en su caso la

²⁵ Es el esfuerzo vertical al que ha estado sometido el suelo en el tiempo, debido a la carga del peso de los estratos superiores de suelo en tanto que ha sufrido un proceso de consolidación.

²⁶ Ídem.

carga impuesta, con el esfuerzo vertical²⁷ σ_l por lo que se ha determinado el Módulo de Deformación de la cangahua en función del criterio de falla Mohr-Coulomb con un valor del coeficiente $R=0.720$ con la siguiente función lineal $E[MPa]=-13.13+0.25*\tau_f [KPa]$.

- En cuanto a la relación entre el Módulo de Deformación de la cangahua en función de su grado de saturación, $E[MPa]=169.14-1.06*S\%$, no es significativa según lo investigado, por lo que la validez de dicha función es únicamente expositiva. Probablemente se debe a que el ensayo utilizado para la presente investigación es el Triaxial no consolidado no drenado, y este ensayo es rápido, por lo que el grado de saturación no influye de forma significativa.

²⁷ Véase pie de página 27.

RECOMENDACIONES

- Es importante destacar, que se hace indispensable el uso de herramientas matemáticas como la estadística, y dentro de esta, el análisis de dispersión, que permiten determinar la función matemática que más se ajusta a representación de una muestra, y de esta forma teniendo la ecuación de la misma, se determine los posibles y más probables valores de un parámetro en función de otro.
- Los modelos estadísticos, llamados modelos de regresión son adecuados para futuras investigaciones en cangahua, conociendo que el Módulo de Deformación de la cangahua se ajusta a una distribución normal.
- No está de más recalcar que es importante respetar las cantidades mínimas de muestras a analizar según el objetivo investigativo y de acuerdo a un criterio científico o método estadístico y técnico, ya que una cantidad menor podría dar resultados no válidos o, en su caso, erróneos, que no aportarían conocimiento al acervo de las investigaciones futuras en esta área.
- En este sentido se hace necesario contar con futuras vías investigativas que profundicen o incrementen el conocimiento de este tipo de suelo, cangahua, y por ende la investigación presente; para lo cual se recomienda someter a este tipo de suelo a ensayos tales como: ensayos compresión simple, ensayos de corte directo, ensayos para determinar coeficiente de Poisson, ensayos edométricos. Así como preparar muestras con porcentajes conocidos de arena y finos.
- En el cálculo de asentamientos por el método elástico, la metodología determina: el asiento inmediato a partir de los parámetros elásticos no drenados, es decir, E_u y ν_u ; el asiento total con los parámetros elásticos totales, es decir, E' y ν' ; y, el asiento de consolidación por diferencia entre el total y el inmediato. Por lo que otra vía investigativa complementaria a la presente, será mediante ensayos triaxiales consolidados tal que, si se puede

admitir un comportamiento pseudolineal-elástico del suelo, exista una relación entre módulos E_u y E' como la generalizada relación en suelos²⁸

$$E_u = 3 * E' / 2 * (1 + \nu').$$

²⁸ E_u : módulo elástico no drenado; E' : módulo elástico efectivo; ν' : es el coeficiente de Poisson efectivo.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aguiar, R. (agosto de 2013). *Microzonificación Sísmica de Quito*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de http://ugi.espe.edu.ec/ugi/wp-content/uploads/2013/11/2013_lib_raguiar_1.pdf
- Argollo, J., & Philippe, M. (1995). *Climas cuaernarios en America del Sur*. Recuperado el 08 de enero de 2014, de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-05/010013270.pdf
- Asociación Astec. (s.f.). *Propuesta de Red Viál Básica para optimizar el desarrollo de la Zona Nororiental del DMQ, incluyendo el NAIQ y la Zona Franca.Informe Fases 2 y 3*. Recuperado el 03 de enero de 2014, de http://corpaq.com/docs/fases_2-3/c_diseno_vial/Informe_Fase%202-3.pdf
- ASTM International. (1994). ASTM D1194-94. *Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2000). ASTM D2166-00. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2000). ASTM D4318-00. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2000). ASTM D4719-00. *Standard Test Methods for Prebored Pressuremeter Testing in Soils*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2000). ASTM D5407-95 (2000). *Standard Test Method for Elastic Moduli of Undrained Intact Rock Core Specimens in Triaxial Compression Without Pore Pressure Measurement*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2000). ASTM E122-00. *Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.

- ASTM International. (2002). ASTM D3148-02. *Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2002). ASTM D854-02. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2004). ASTM D427-04. *Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method* (. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2004). ASTM D4767-04. *Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2004). ASTM D5311-92 (2004). *Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2004). ASTM D7012-04. *Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2007). ASTM D2850 - 03a(2007). *Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2010). ASTM D2216-10. *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2011). ASTM D2435 / D2435M-11. *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM International. (2011). ASTM D653-11. *Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.

- ASTM International. (2011). ASTM D7181-11. *Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils*. West Conshohocken, Philadelphia, Estados Unidos: ASTM International.
- Barquitectura. (7 de julio de 2010). *La cangahua en el Ecuador*. Recuperado el 24 de noviembre de 2013, de <http://paolavallejc.blogspotarquitectura.com/2010/07/07/la-cangahua-en-la-construccion/>
- Behar Gutiérrez, R., & Yepes Arango, M. (2007). *Estadística Un Enfoque Descriptivo*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. Singapore, República de Singapur: McGraw-Hill.
- Bureau of Reclamation. (1998). *Earth Manual*. Denver, Colorado, Estados Unidos: United States Government Printing Office.
- Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas. (2008). XXXVI *Curso Internacional de Geografía: Ordenamiento Territorial de Áreas de Patrimonio Natural y Cultural*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de <http://www.cepeige.org/Revista/OT.Caracterizacion.pdf>
- Chen, W., & Mizuno, E. (1990). *Nonlinear analysis in soil mechanics*. Avenue of the Americas, New York, Estados Unidos: Elsevier.
- Chen, W.F.& Liew, Richard J.Y.(Ed). (2003). *The Civil Engineering Handbook*. New York, Estados Unidos: CRC Press.
- Civil Engineering and Development Department The Government of the Hong Kong. (2006). *Foundation Desing and Construction*. Homantin, Kowloon, Hong Kong: Geotechnical Engineering Office.
- Craig, R. (2004). *Craig's Soil Mechanics*. New Fetter Lane, Londres: Taylor & Francis Group.
- Curiosidades de la Ciencia. (s.f.). *Cronología geológica del planeta Tierra*. Recuperado el 08 de enero de 2014, de <http://www.curiosidadesdelaciencia.com/ciencias-naturales/terrestres/95-cronologia-geologica-del-planeta-tierra>
- Das, B. M. (1999). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*. Sacramento, California, Estados Unidos: Thomson Learning.
- Das, B. M. (2002). *Soil Mechanics Laboratory Manual*. Oxford, New York, Estados Unidos: Oxford University Press.

- Das, B. M. (2008). *Advanced Soils Mechanics*. New York, Estados Unidos: Taylor & Francis.
- D'Ercole, R., & Metzger, P. (2002). *Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de <http://www.ecuador.ird.fr/mediateca/las-co-ediciones-en-ecuador/los-lugares-esenciales-del-distrito-metropolitano-de-quito>
- Ego, F., Sébrier, M., Carey-Gailhardis, E., & Insergueix, D. (1996). La amenaza sísmica en los Andes Ecuatorianos. *Bulletin de l'IFEA* 25(3), 325-357.
- Escobar Toro, L. J. (2011). *Clasificación y caracterización de suelos tropicales en un talud de la autopista Medellín-Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario*. Recuperado el 07 de enero de 2014, de www.bdigital.unal.edu.co/5495/1/71737500.2011_1.pdf
- Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International, Ilustre Municipio de Quito, Orstom, Oyo Corporation. (1994). *The Quito-Ecuador, Earthquake Risk Management Proyect*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de <http://www.geohaz.org/news/images/publications/QuitoRiskManagementProyect.pdf>
- Fundación Educativa Héctor A. García. (s.f.). *Ley de Hooke*. Recuperado el 17 de enero de 2014, de http://www.proyectosalohnogar.com/Enciclopedia_Ilustrada/Ciencias/Ley_de_Hooke.htm
- González de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Prentice Hall.
- Gonzalez, A. (2010). *Reunión preparatoria para el Atlas de suelos de Latinoamérica*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/Maps/LatinAmerica_Atlas/Meeting2010/08Sep/1_A%20Solos%20EQUADOR.pdf
- Guerra Velásquez, J., & Afanador Ardilla, A. M. (s.f.). *Paleoclimatología*. Recuperado el 09 de enero de 2014, de <http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiaii/articuloseshii/temasvariados/paleoclima/paleoclima.html>
- Hibsch, C., Alvarado, A., Yepes, H., Sébrier, M., & Pérez, H. (1996). Falla activa de Quito y fuentes sismogénicas regionales: un estudio del riesgo sísmico de

- Quito (Ecuador) con el análisis de los sedimentos cuaternarios. *Bulletin de l'IFEA* 25(3), 359-388.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Englewood Cliffs, New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- INEGEMM. (2014). Instituto de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Instituto Panamericano de Geografía e Historia. (15-17 de junio de 2011). *Estudios de Microzonificación Sísmica de Quito*. Recuperado el 22 de noviembre de 2013, de [http://www.ipgh.org/Reuniones-Tecnicas-Conjuntas/Segunda-Reunion/Files/AGUIAR-Roberto_\(Web\).pdf](http://www.ipgh.org/Reuniones-Tecnicas-Conjuntas/Segunda-Reunion/Files/AGUIAR-Roberto_(Web).pdf)
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Maibaum, G. (1976). *Teoría de probabilidad y estadística matemática*. Berlín, Alemania: Deutscher Verlag.
- Ortega Berrocal, L. (1998). *Elasticidad*. Madrid, España: MacGraw-Hill.
- Ospina Lozano, Ó. R. (Octubre de 2010). Dolarización y desarrollo urbano: mercado de vivienda nueva en Quito. Quito, Ecuador: Abya-Yala.
- Padilla Velázquez, R. R. (s.f.). *Relaciones de Fase en la Ingeniería Moderna*. Recuperado el 07 de enero de 2014, de <http://www.smig.org.mx/archivos/pdf/RelDeFase.pdf>
- Quito. (s.f.). *Metro, Portal de Información Técnico*. Recuperado el 03 de enero de 2014, de <http://www.portaltecnico.metrodequito.gob.ec/tecmetro.php?c=1352>
- Ross, S. (2009). *Introduction to probability and statistics for engineers and scientists*. San Diego, California, Estados Unidos: Elsevier.
- Sánchez Corona, O. (2004). *Probabilidad y estadística*. México D.F., México: McGraw Hill.
- Schinazi, R. (2010). *Probability with Statistical Applications*. New York, Estados Unidos: Birkhäuser.
- Smith, G., & Smith, I. G. (1998). *Elements of Soil Mechanics*. Edinburgh, Reino Unido : Blackwell Science.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- United Nations Environment Programme. (2013). *Division of Early Warning and Assessment*. Recuperado el 03 de enero de 2014, de http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/ECCO_DM_Quito.pdf

- Universidad Alfonso X. (s.f.). *Geotecnia II- 40 ICA, El sólido elástico*. Recuperado el 29 de enero de 2014, de http://html.rincondelvago.com/geotecnia_3.html
- Vallejo, L., & Moldanado, E. (1986). *Mapa de Suelos del Ecuador*. Recuperado el 23 de noviembre de 2013, de http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/latinamerica/images/maps/download/ec12006_so.jpg
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. Boston, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Wikipedia. (27 de diciembre de 2013). *Quito*. Recuperado el 03 de enero de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Quito#Relieve_y_geolog.C3.ADA
- Winckel, A. (1982). *Relieve y Geomorfología del Ecuador*. Recuperado el 22 de noviembre de 2013, de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-08/22644.pdf

ANEXOS

De forma sinóptica se ha utilizado en la presentación de los anexos, colores para los tres esfuerzos de confinamiento a los que han sido sometidos los especímenes tal como sigue:

Tonos rojos.	$\sigma_3=50$ KPa
Tonos verdes.	$\sigma_3=100$ KPa
Tonos naranjas.	$\sigma_3= 200$ KPa

Los Anexos se estructuran de la siguiente forma:

- En el Anexo 1. Datos muestrales iniciales, se muestra un resumen de los datos obtenidos de los 132 ensayos triaxiales en cangahua.
- En los Anexos 2, 3 y 4. Casos atípicos, clasificados por esfuerzos de confinamiento ($\sigma_3=50$, 100, y 200 KPa) se muestra por cada subcapítulo en función de cada una de estas variables: *Módulo elástico medio [MPa]*, *Esfuerzo desviador [KPa]*, *Ángulo de fricción [°]*, y *Densidad seca [KN/m³]*. Se muestra, para la reducción de casos, por cada esfuerzo de confinamiento y por cada variable las siguientes tablas y figuras en cada uno de estos anexos:

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Tabla -2. Descriptivos

Tabla -3. Valores extremos

Tabla -4. Percentiles

Figura -1. Histograma

Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes

Figura -3. Diagrama Q-Q normal

Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia

- En el Anexo 5. Muestras excluidas, se muestra las exclusiones de los datos en función de los anexos 2, 3 y 4, en los ensayos triaxiales en cangahua en las siguientes tablas:

Tabla -1. Resumen casos atípicos esfuerzo confinamiento $\sigma_3=50$ KPa

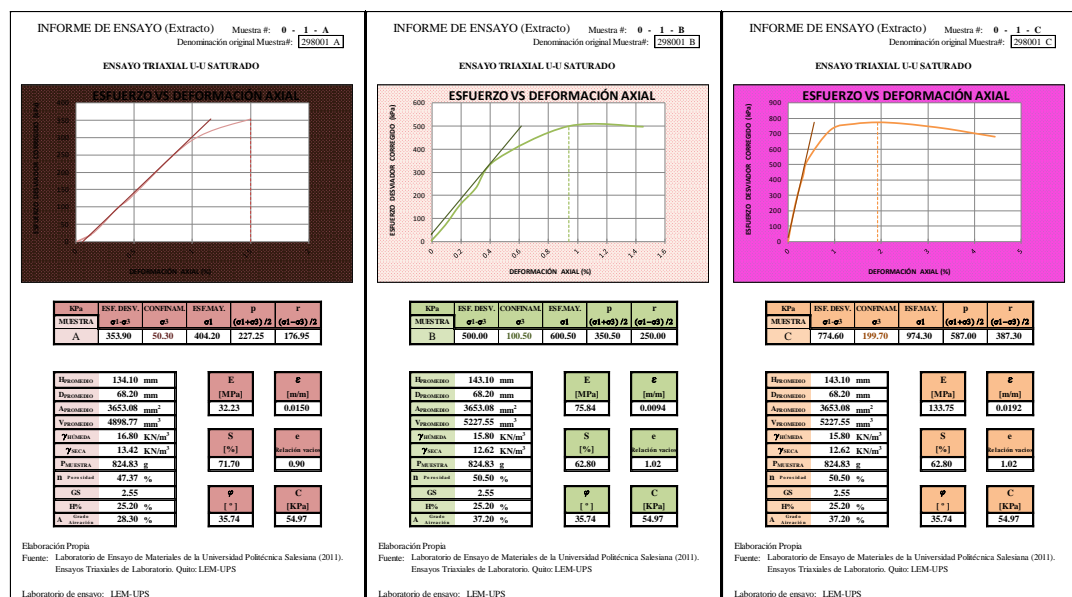
Tabla -2. Resumen casos atípicos esfuerzo confinamiento $\sigma_3=100$ KPa

Tabla -3. Resumen casos atípicos esfuerzo confinamiento $\sigma_3=200$ KPa

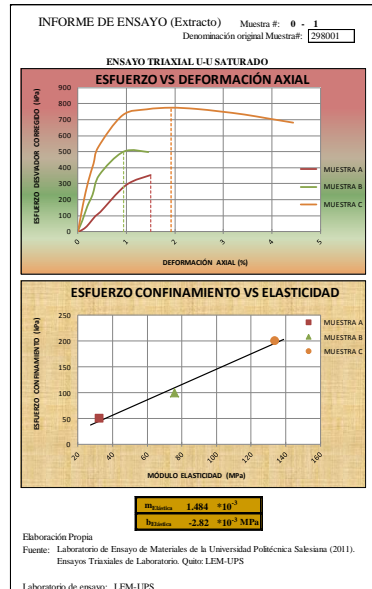
Tabla -4. Muestras excluidas

- En el Anexo 6. Datos muestrales, se muestra los datos depurados para el Módulo de deformación de los ensayos triaxiales en cangahua.
- En el Anexo 7. Informes de ensayos Triaxiales U.U. saturado, se muestra los extractos de los informes del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011). Cada muestra esta compuesta de 5 Extractos. En la parte superior derecha esta consignado la denominación de la muestra usada para la presente investigación y la denominación propia del laboratorio. Los Informes de Ensayo constan de:

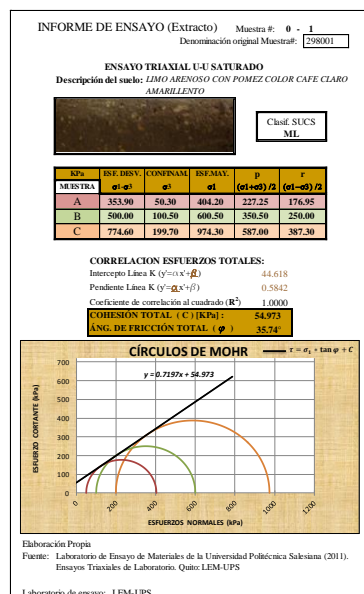
-Gráficos esfuerzo-deformación por cada esfuerzo de confinamiento con su recta de módulo elástico, datos y características propias de cada espécimen:



-Gráfico esfuerzo-deformación combinado de los tres esfuerzos de confinamiento, y gráfico de tendencia del módulo elástico según el esfuerzo de confinamiento asociado:



-Gráfico Círculos de Mohr, criterio de falla Mohr-Coulomb, descripción del suelo, fotografía del color y la textura de espécimen, clasificación SUCS y otros datos principales:



Anexo 1. Datos muestrales iniciales				

Anexo 1.1. Datos muestrales iniciales. Primera parte.

NOM_ MUES.	DEN_ SECA	HUM_ INIC.	GRAD_ SAT.	REL_ VAC.	ESF_ DESV.	ESF_ CONF.	ESF_ MÁX.	P	COR_ R2
01A	13.42	25.2	71.7	0.9	353.9	50.3	404.2	227.25	1.0000
01B	12.62	25.2	62.8	1.02	500.0	100.5	600.5	350.50	1.0000
01C	12.62	25.2	62.8	1.02	774.6	199.7	974.3	587.00	1.0000
02A	12.83	25.5	64.2	1.03	554.7	50.4	605.1	327.75	0.9992
02B	12.35	25.5	60.1	1.11	725.4	100.7	826.1	463.40	0.9992
02C	12.83	25.5	64.4	1.03	985.2	200.1	1185.3	692.70	0.9992
11A	12.07	39.2	91.4	1.08	397.4	50.1	447.5	248.80	0.9996
11B	12.07	39.2	91.4	1.08	497.7	99.3	597.0	348.15	0.9996
11C	12.07	39.2	91.4	1.08	676.4	201.0	877.4	539.20	0.9996
12A	11.64	39.2	82.8	1.24	222.7	50.4	273.1	161.75	1.0000
12B	11.64	39.2	82.8	1.24	365.3	100.0	465.3	282.65	1.0000
12C	11.71	39.2	86.0	1.14	641.7	199.6	841.3	520.45	1.0000
13A	13.45	33.1	96.0	0.87	288.5	50.0	338.5	194.25	0.9996
13B	13.45	33.1	96.0	0.87	357.2	100.3	457.5	278.90	0.9996
13C	13.45	33.1	96.0	0.87	478.3	200.4	678.7	439.55	0.9996
14A	12.13	38.5	87.4	1.14	301.1	51.2	352.3	201.75	0.9992
14B	12.13	38.5	87.4	1.14	488.7	100.0	588.7	344.35	0.9992
14C	12.13	38.5	87.4	1.14	778.6	199.7	978.3	589.00	0.9992
15A	11.44	44.2	92.6	1.21	274.4	50.0	324.4	187.20	0.9989
15B	11.44	44.2	92.6	1.21	433.2	99.4	532.6	316.00	0.9989
15C	11.44	44.2	92.6	1.21	676.4	200.8	877.2	539.00	0.9989
16A	12.42	40.1	95.8	1.09	505.6	50.4	556.0	303.20	0.9995
16B	12.42	40.1	95.8	1.09	627.4	101.1	728.5	414.80	0.9995
16C	12.42	40.1	95.8	1.09	825.7	200.1	1025.8	612.95	0.9995
21A	11.30	41.6	81.5	1.37	34.2	51.6	85.8	68.70	0.9992
21B	11.30	41.6	81.5	1.37	88.0	100.7	188.7	144.70	0.9992
21C	11.30	41.6	81.5	1.37	180.5	200.4	380.9	290.65	0.9992
22A	12.46	39.6	93.8	1.11	360.3	49.8	410.1	229.95	0.9997
22B	12.46	39.6	93.8	1.11	469.0	100.4	569.4	334.90	0.9997
22C	12.46	39.6	93.8	1.11	657.2	200.9	858.1	529.50	0.9997
23A	12.77	33.1	86.3	0.96	174.4	50.4	224.8	137.60	0.9997
23B	12.77	33.1	86.3	0.96	238.8	100.9	339.7	220.30	0.9997
23C	12.77	33.1	86.3	0.96	381.6	199.6	581.2	390.40	0.9997

Continúa...

NOM_ MUES.	DEN_ SECA	HUM_ INIC.	GRAD_ SAT.	REL_ VAC.	ESF_ DESV.	ESF_ CONF.	ESF_ MÁX.	P	COR_ R2
24A	12.38	39.7	93.5	1.11	222.1	49.3	271.4	160.35	0.9967
24B	13.31	30.0	93.5	1.11	312.4	100.8	413.2	257.00	0.9967
24C	12.38	39.7	93.5	1.11	433.9	200.5	634.4	417.45	0.9967
25A	11.56	39.3	79.9	1.32	328.6	50.4	379.0	214.70	0.9981
25B	11.56	39.3	79.8	1.32	462.0	99.9	561.9	330.90	0.9981
25C	11.56	39.3	79.8	1.32	654.8	200.9	855.7	528.30	0.9981
26A	13.15	35.4	97.2	0.92	244.4	53.0	297.4	175.20	0.9998
26B	13.15	35.4	97.2	0.92	334.8	100.3	435.1	267.70	0.9998
26C	13.15	35.4	97.2	0.92	504.9	200.5	705.4	452.95	0.9998
27A	11.81	44.0	96.2	1.17	248.7	50.3	299.0	174.65	1.0000
27B	11.81	44.0	96.2	1.17	327.8	100.1	427.9	264.00	1.0000
27C	11.81	44.0	96.2	1.17	480.2	200.0	680.2	440.10	1.0000
31A	13.48	33.5	96.1	0.88	397.9	50.3	448.2	249.25	1.0000
31B	13.71	33.5	100.0	0.84	499.0	100.5	599.5	350.00	1.0000
31C	13.71	33.5	100.0	0.84	689.1	200.1	889.2	544.65	1.0000
32A	11.30	44.3	89.4	1.27	326.1	50.0	376.1	213.05	0.9996
32B	11.30	44.3	89.4	1.27	408.0	100.5	508.5	304.50	0.9996
32C	11.30	44.3	89.4	1.27	551.0	201.0	752.0	476.50	0.9996
33A	10.38	55.1	95.2	1.5	399.3	50.1	449.4	249.75	0.9998
33B	10.38	55.1	95.2	1.5	517.5	99.4	616.9	358.15	0.9998
33C	10.38	55.1	95.2	1.5	730.5	200.2	930.7	565.45	0.9998
41A	12.08	37.4	90.1	1.01	835.8	50.0	885.8	467.90	0.9997
41B	12.08	37.4	90.1	1.01	941.1	100.4	1041.5	570.95	0.9997
41C	12.08	37.4	90.1	1.01	1186.3	200.5	1386.8	793.65	0.9997
42A	13.21	40.0	99.8	1.13	201.7	50.6	252.3	151.45	0.5377
42B	13.21	40.0	99.8	1.13	208.5	100.5	309.0	204.75	0.5377
42C	13.21	40.0	99.8	1.13	190.0	200.1	390.1	295.10	0.5377
43A	7.76	48.2	99.9	1.26	140.2	49.9	190.1	120.00	0.9992
43B	11.54	48.2	99.9	1.26	158.8	101.1	259.9	180.50	0.9992
43C	11.54	48.2	99.9	1.26	199.5	198.9	398.4	298.65	0.9992
51A	14.25	29.1	94.1	0.78	106.7	49.8	156.5	103.15	0.9877
51B	14.25	29.1	94.1	0.78	159.1	99.6	258.7	179.15	0.9877
51C	14.25	29.1	94.1	0.78	219.6	200.5	420.1	310.30	0.9877

Continúa...

NOM_ MUES.	DEN_ SECA	HUM_ INIC.	GRAD_ SAT.	REL_ VAC.	ESF_ DESV.	ESF_ CONF.	ESF_ MÁX.	P	COR_ R2
52A	13.16	34.5	96.8	0.88	202.8	49.3	252.1	150.70	0.9967
52B	13.16	34.5	96.8	0.88	323.6	100.8	424.4	262.60	0.9967
52C	13.16	34.5	96.8	0.88	479.6	200.7	680.3	440.50	0.9967
53A	12.49	37.7	92.3	1.04	371.9	52.0	423.9	237.95	0.9995
53B	12.64	37.7	93.9	1.02	530.0	100.4	630.4	365.40	0.9995
53C	12.64	37.7	93.9	1.02	795.1	200.2	995.3	597.75	0.9995
61A	12.80	39.8	99.2	1.05	333.2	49.9	383.1	216.50	0.9963
61B	12.80	39.8	99.2	1.05	444.3	100.9	545.2	323.05	0.9963
61C	12.80	39.8	99.2	1.05	587.1	200.1	787.2	493.65	0.9963
62A	11.81	43.1	95.0	1.16	571.6	50.0	621.6	335.80	0.9774
62B	11.81	43.1	95.0	1.16	585.5	100.0	685.5	392.75	0.9774
62C	11.81	43.1	95.0	1.16	780.2	204.8	985.0	594.90	0.9774
63A	14.00	30.0	90.0	0.87	385.2	50.1	435.3	242.70	0.9985
63B	14.00	30.0	90.0	0.87	501.8	100.7	602.5	351.60	0.9985
63C	14.00	30.0	90.0	0.87	675.5	201.7	877.2	539.45	0.9985
64A	13.51	33.2	95.8	0.88	256.5	50.1	306.6	178.35	0.9992
64B	13.51	33.2	95.8	0.88	375.6	100.9	476.5	288.70	0.9992
64C	13.51	33.2	95.8	0.88	564.0	200.4	764.4	482.40	0.9992
71A	14.29	30.2	94.8	0.83	262.2	50.9	313.1	182.00	0.9998
71B	14.29	30.2	94.8	0.83	336.9	99.3	436.2	267.75	0.9998
71C	14.29	30.2	94.8	0.83	477.4	200.4	677.8	439.10	0.9998
72A	13.24	35.2	94.1	0.98	478.3	50.0	528.3	289.15	0.9996
72B	13.24	35.2	94.1	0.98	608.2	99.9	708.1	404.00	0.9996
72C	13.24	35.2	94.1	0.98	837.8	204.7	1042.5	623.60	0.9996
73A	12.19	38.6	87.6	1.17	387.6	49.8	437.4	243.60	0.9981
73B	12.19	38.6	87.6	1.17	507.5	101.1	608.6	354.85	0.9981
73C	12.19	38.6	87.6	1.17	674.7	199.7	874.4	537.05	0.9981
74A	12.76	37.9	95.8	1.02	395.5	50.9	446.4	248.65	0.9997
74B	12.76	37.9	95.8	1.02	514.9	99.2	614.1	356.65	0.9997
74C	12.76	37.9	95.8	1.02	731.1	199.6	930.7	565.15	0.9997
75A	11.56	47.1	99.6	1.21	411.9	50.9	462.8	256.85	0.9918
75B	11.56	47.1	99.6	1.21	576.0	100.5	676.5	388.50	0.9918
75C	11.56	47.1	99.6	1.21	742.0	200.5	942.5	571.50	0.9918

Continúa...

NOM_ MUES.	DEN_ SECA	HUM_ INIC.	GRAD_ SAT.	REL_ VAC.	ESF_ DESV.	ESF_ CONF.	ESF_ MÁX.	P	COR_ R2
76A	12.61	38.8	95.5	1.05	202.4	50.6	253.0	151.80	0.9984
76B	12.61	38.8	95.5	1.05	271.9	100.7	372.6	236.65	0.9984
76C	12.61	38.8	95.5	1.05	380.6	200.7	581.3	391.00	0.9984
77A	11.28	48.1	95.3	1.32	398.4	52.0	450.4	251.20	0.9997
77B	11.28	48.1	95.3	1.32	529.5	100.3	629.8	365.05	0.9997
77C	11.28	48.1	95.3	1.32	761.0	199.6	960.6	580.10	0.9997
78A	12.57	33.7	83.8	1.02	191.6	50.9	242.5	146.70	0.9993
78B	12.57	33.7	83.8	1.02	260.2	99.9	360.1	230.00	0.9993
78C	12.57	33.7	83.8	1.02	379.6	200.4	580.0	390.20	0.9993
81A	13.80	26.1	75.5	0.91	406.7	24.9	431.6	228.25	0.9999
81B	13.80	26.1	75.4	0.92	449.9	50.3	500.2	275.25	0.9999
81C	13.80	26.1	75.4	0.92	538.5	99.6	638.1	368.85	0.9999
82A	14.03	26.2	76.8	0.91	503.9	25.4	529.3	277.35	0.9996
82B	14.03	26.2	76.8	0.91	550.6	50.1	600.7	325.40	0.9996
82C	14.03	26.2	76.8	0.91	635.0	101.5	736.5	419.00	0.9996
83A	14.40	24.3	78.4	0.81	448.8	25.2	474.0	249.60	1.0000
83B	14.40	24.3	78.5	0.8	492.9	50.3	543.2	296.75	1.0000
83C	14.40	24.3	78.5	0.8	583.0	100.4	683.4	391.90	1.0000
84A	14.82	16.7	56.7	0.77	454.4	25.5	479.9	252.70	0.9990
84B	14.74	16.7	56.6	0.77	495.1	50.7	545.8	298.25	0.9990
84C	14.74	16.7	56.4	0.78	599.0	100.1	699.1	399.60	0.9990
85A	12.05	36.9	81.1	1.2	374.5	50.4	424.9	237.65	0.9999
85B	12.05	36.9	81.1	1.2	429.7	99.7	529.4	314.55	0.9999
85C	12.04	37.0	81.1	1.2	534.5	200.4	734.9	467.65	0.9999
86A	13.33	35.0	93.4	0.99	630.8	50.4	681.2	365.80	0.9984
86B	13.33	35.0	93.4	0.99	701.3	100.7	802.0	451.35	0.9984
86C	13.33	35.0	93.4	0.99	811.7	201.2	1012.9	607.05	0.9984
87A	14.62	25.2	84.1	0.78	286.1	49.8	335.9	192.85	0.9988
87B	14.62	25.2	84.1	0.78	362.5	99.9	462.4	281.15	0.9988
87C	14.62	25.2	84.1	0.78	485.4	200.5	685.9	443.20	0.9988
88A	13.00	22.3	57.5	1.02	717.2	49.5	766.7	408.10	0.9967
88B	13.00	22.3	57.5	1.02	769.3	100.1	869.4	484.75	0.9967
88C	13.00	22.3	57.5	1.02	929.9	200.2	1130.1	665.15	0.9967

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. Densidad seca [KN/m³]; humedad inicial [%]; grado de saturación [%]; esfuerzo desviador [KPa]; esfuerzo confinamiento [KPa]; esfuerzo máximo [KPa]; p: centro de círculo de Mohr [KPa]; correlación R² de la recta tangente de rotura.

Anexo 1.2. Datos muestrales iniciales. Segunda parte.

NOM_MUES.	ÁNG_FRICC.	COHE SIÓN	MÓD_ELÁS.	DEF_UNI.	PTE_ELÁS.	B_ELÁS.	POROSIDAD	G.S.	CLAS_SUCS
01A	35.74	54.97	32.23	0.0150	0.0015	-0.003	47.37	2.55	ML
01B	35.74	54.97	75.84	0.0094	0.0015	-0.003	50.50	2.55	ML
01C	35.74	54.97	133.75	0.0192	0.0015	-0.003	50.50	2.55	ML
02A	35.97	107.54	25.95	0.0198	0.0027	-0.003	50.74	2.61	ML
02B	35.97	107.54	58.46	0.0197	0.0027	-0.003	52.61	2.61	ML
02C	35.97	107.54	50.92	0.0357	0.0027	-0.003	50.74	2.61	ML
11A	28.60	91.84	59.29	0.0134	0.0018	-0.059	51.92	2.51	ML
11B	28.60	91.84	114.17	0.0144	0.0018	-0.059	51.92	2.51	ML
11C	28.60	91.84	114.61	0.0147	0.0018	-0.059	51.92	2.51	ML
12A	35.71	21.23	12.90	0.0349	0.0019	0.0216	55.36	2.61	ML
12B	35.71	21.23	46.15	0.0144	0.0019	0.0216	55.36	2.61	ML
12C	35.71	21.23	93.39	0.0449	0.0019	0.0216	53.27	2.51	ML
13A	22.68	75.90	37.54	0.0156	0.0030	-0.06	46.52	2.52	ML
13B	22.68	75.90	70.57	0.0148	0.0030	-0.06	46.52	2.52	ML
13C	22.68	75.90	69.07	0.0136	0.0030	-0.06	46.52	2.52	ML
14A	37.87	36.88	44.46	0.0092	0.0013	-0.007	53.27	2.59	ML
14B	37.87	36.88	122.92	0.0099	0.0013	-0.007	53.27	2.59	ML
14C	37.87	36.88	126.72	0.0202	0.0013	-0.007	53.27	2.59	ML
15A	34.64	40.33	37.92	0.0141	0.0011	-0.003	54.75	2.53	ML
15B	34.64	40.33	118.58	0.0098	0.0011	-0.003	54.75	2.53	ML
15C	34.64	40.33	168.17	0.0142	0.0011	-0.003	54.75	2.53	ML
16A	30.98	114.38	45.12	0.0207	0.0014	-0.016	52.15	2.60	ML
16B	30.98	114.38	91.52	0.0100	0.0014	-0.016	52.15	2.60	ML
16C	30.98	114.38	155.63	0.0146	0.0014	-0.016	52.15	2.60	ML
21A	19.14	0.00	4.73	0.0153	0.0061	0.0189	57.81	2.68	ML
21B	19.14	0.00	14.59	0.0245	0.0061	0.0189	57.81	2.68	ML
21C	19.14	0.00	29.47	0.0548	0.0061	0.0189	57.81	2.68	ML
22A	29.61	77.66	48.57	0.0149	0.0014	-0.03	52.61	2.63	ML
22B	29.61	77.66	116.56	0.0045	0.0014	-0.03	52.61	2.63	ML
22C	29.61	77.66	140.58	0.0144	0.0014	-0.03	52.61	2.63	ML
23A	24.29	32.78	18.66	0.0164	0.0015	0.045	48.98	2.49	CL-ML
23B	24.29	32.78	70.29	0.0089	0.0015	0.045	48.98	2.49	CL-ML
23C	24.29	32.78	54.20	0.0252	0.0015	0.045	48.98	2.49	CL-ML

Continúa...

NOM_ MUES.	ÁNG_ FRICC.	COHE SIÓN	MÓD_ ELÁS.	DEF_ UNI.	PTE_ ELÁS.	B_ ELÁS.	PORO SIDAD	G.S.	CLAS_ SUCS
24A	24.11	52.28	35.36	0.0259	0.0031	-0.055	52.61	2.61	ML
24B	24.11	52.28	48.86	0.0107	0.0031	-0.055	52.61	2.61	ML
24C	24.11	52.28	83.69	0.0154	0.0031	-0.055	52.61	2.61	ML
25A	31.11	65.33	35.80	0.0192	0.0012	0.0114	56.90	2.69	SM
25B	31.11	65.33	119.47	0.0096	0.0012	0.0114	56.90	2.69	SM
25C	31.11	65.33	114.86	0.0192	0.0012	0.0114	56.90	2.69	SM
26A	27.87	46.46	28.87	0.0095	0.0039	-0.066	47.92	2.52	ML
26B	27.87	46.46	45.24	0.0148	0.0039	-0.066	47.92	2.52	ML
26C	27.87	46.46	66.99	0.0295	0.0039	-0.066	47.92	2.52	ML
27A	25.82	53.91	28.23	0.0151	0.0029	-0.041	53.92	2.55	ML
27B	25.82	53.91	55.25	0.0104	0.0029	-0.041	53.92	2.55	ML
27C	25.82	53.91	79.45	0.0313	0.0029	-0.041	53.92	2.55	ML
31A	29.49	88.04	27.17	0.0198	0.0027	-0.033	46.81	2.53	SM
31B	29.49	88.04	63.39	0.0147	0.0027	-0.033	45.65	2.53	SM
31C	29.49	88.04	75.86	0.0194	0.0027	-0.033	45.65	2.53	SM
32A	25.18	80.91	47.59	0.0148	0.0028	-0.09	55.95	2.56	SM
32B	25.18	80.91	73.02	0.0092	0.0028	-0.09	55.95	2.56	SM
32C	25.18	80.91	102.03	0.0195	0.0028	-0.09	55.95	2.56	SM
33A	31.54	82.08	19.21	0.0299	0.0029	-0.015	60.00	2.59	SM
33B	31.54	82.08	53.20	0.0157	0.0029	-0.015	60.00	2.56	SM
33C	31.54	82.08	64.65	0.0194	0.0029	-0.015	60.00	2.59	SM
41A	32.68	194.87	247.57	0.0041	0.0007	-0.118	50.25	2.42	ML
41B	32.68	194.87	338.19	0.0033	0.0007	-0.118	50.25	2.42	ML
41C	32.68	194.87	476.45	0.0040	0.0007	-0.118	50.25	2.42	ML
42A	-2.71	110.41	7.81	0.0497	0.0021	0.0435	53.05	2.81	ML
42B	-2.71	110.41	52.75	0.0146	0.0021	0.0435	53.05	2.81	ML
42C	-2.71	110.41	46.07	0.0147	0.0021	0.0435	53.05	2.81	ML
43A	9.60	50.47	7.23	0.0406	0.0031	0.0292	55.75	2.60	SM
43B	9.60	50.47	38.67	0.0145	0.0031	0.0292	55.75	2.60	SM
43C	9.60	50.47	37.41	0.0316	0.0031	0.0292	55.75	2.60	SM
51A	15.54	29.04	11.56	0.0228	0.0051	-0.017	43.82	2.54	ML
51B	15.54	29.04	26.06	0.0153	0.0051	-0.017	43.82	2.54	ML
51C	15.54	29.04	41.32	0.0192	0.0051	-0.017	43.82	2.54	ML

Continúa...

NOM_MUES.	ÁNG_FRICC.	COHE SIÓN	MÓD_ELÁS.	DEF_UNI.	PTE_ELÁS.	B_ELÁS.	PORO SIDAD	G.S.	CLAS_SUCS
52A	28.29	37.22	24.39	0.0200	0.0027	-0.026	46.81	2.48	ML
52B	28.29	37.22	56.99	0.0090	0.0027	-0.026	46.81	2.48	ML
52C	28.29	37.22	79.08	0.0141	0.0027	-0.026	46.81	2.48	ML
53A	35.87	59.53	59.53	0.0101	0.0015	-0.049	50.98	2.55	ML
53B	35.87	59.53	121.86	0.0090	0.0015	-0.049	50.50	2.55	ML
53C	35.87	59.53	145.92	0.0214	0.0015	-0.049	50.50	2.55	ML
61A	27.02	79.64	34.90	0.0191	0.0018	-0.014	51.22	2.62	ML
61B	27.02	79.64	91.26	0.0102	0.0018	-0.014	51.22	2.62	ML
61C	27.02	79.64	92.40	0.0344	0.0018	-0.014	51.22	2.62	ML
62A	25.05	150.23	56.82	0.0156	0.0013	-0.022	53.70	2.55	ML
62B	25.05	150.23	97.34	0.0101	0.0013	-0.022	53.70	2.55	ML
62C	25.05	150.23	180.10	0.0243	0.0013	-0.022	53.70	2.55	ML
63A	29.09	87.75	32.34	0.0192	0.0020	-0.024	46.52	2.62	ML
63B	29.09	87.75	72.92	0.0103	0.0020	-0.024	46.52	2.62	ML
63C	29.09	87.75	107.46	0.0145	0.0020	-0.024	46.52	2.62	ML
64A	30.23	46.31	15.36	0.0231	0.0020	0.0101	46.81	2.54	ML
64B	30.23	46.31	54.95	0.0095	0.0020	0.0101	46.81	2.54	ML
64C	30.23	46.31	89.42	0.0149	0.0020	0.0101	46.81	2.54	ML
71A	24.66	61.38	55.96	0.0093	0.0059	-0.257	45.36	2.62	ML
71B	24.66	61.38	56.56	0.0152	0.0059	-0.257	45.36	2.62	ML
71C	24.66	61.38	77.66	0.0245	0.0059	-0.257	45.36	2.62	ML
72A	32.38	101.45	93.22	0.0098	0.0026	-0.201	49.49	2.62	ML
72B	32.38	101.45	123.35	0.0095	0.0026	-0.201	49.49	2.62	ML
72C	32.38	101.45	152.73	0.0143	0.0026	-0.201	49.49	2.62	ML
73A	29.09	88.81	35.38	0.0197	0.0017	-0.007	53.92	2.65	ML
73B	29.09	88.81	91.38	0.0096	0.0017	-0.007	53.92	2.65	ML
73C	29.09	88.81	86.73	0.0199	0.0017	-0.007	53.92	2.65	ML
74A	31.91	79.34	82.52	0.0118	0.0025	-0.148	50.50	2.59	ML
74B	31.91	79.34	96.95	0.0103	0.0025	-0.148	50.50	2.59	ML
74C	31.91	79.34	141.11	0.0150	0.0025	-0.148	50.50	2.59	ML
75A	31.34	90.57	61.85	0.0099	0.0037	-0.145	54.75	2.56	ML
75B	31.34	90.57	58.09	0.0150	0.0037	-0.145	54.75	2.56	ML
75C	31.34	90.57	92.15	0.0144	0.0037	-0.145	54.75	2.56	ML

Continúa...

NOM_ MUES.	ÁNG_ FRICC.	COHE SIÓN	MÓD_ ELÁS.	DEF_ UNI.	PTE_ ELÁS.	B_ ELÁS.	PORO SIDAD	G.S.	CLAS_ SUCS
76A	21.72	49.89	31.05	0.0200	0.0063	-0.14	51.22	2.58	ML
76B	21.72	49.89	37.70	0.0144	0.0063	-0.14	51.22	2.58	ML
76C	21.72	49.89	54.71	0.0192	0.0063	-0.14	51.22	2.58	ML
77A	33.34	74.61	35.80	0.0191	0.0008	0.0377	56.90	2.61	ML
77B	33.34	74.61	135.27	0.0108	0.0008	0.0377	56.90	2.61	ML
77C	33.34	74.61	111.86	0.0178	0.0008	0.0377	56.90	2.61	ML
78A	22.60	43.70	23.29	0.0245	0.0033	-0.037	50.50	2.55	ML
78B	22.60	43.70	47.99	0.0150	0.0033	-0.037	50.50	2.55	ML
78C	22.60	43.70	67.06	0.0452	0.0033	-0.037	50.50	2.55	ML
81A	27.99	108.76	48.39	0.0149	0.0007	-0.015	47.64	2.65	CL
81B	27.99	108.76	110.82	0.0050	0.0007	-0.015	47.92	2.65	CL
81C	27.99	108.76	145.41	0.0100	0.0007	-0.015	47.92	2.65	CL
82A	27.46	140.34	95.62	0.0091	0.0006	-0.034	47.64	2.68	ML
82B	27.46	140.34	176.94	0.0044	0.0006	-0.034	47.64	2.68	ML
82C	27.46	140.34	177.76	0.0043	0.0006	-0.034	47.64	2.68	ML
83A	28.15	120.85	71.87	0.0098	0.0005	-0.013	44.75	2.60	CL
83B	28.15	120.85	175.69	0.0041	0.0005	-0.013	44.44	2.60	CL
83C	28.15	120.85	188.63	0.0093	0.0005	-0.013	44.44	2.60	CL
84A	29.71	116.35	143.73	0.0095	0.0019	-0.251	43.50	2.62	ML
84B	29.71	116.35	170.29	0.0043	0.0019	-0.251	43.50	2.62	ML
84C	29.71	116.35	174.15	0.0044	0.0019	-0.251	43.82	2.62	ML
85A	20.31	112.11	28.10	0.0196	0.0012	0.0165	54.55	2.65	ML
85B	20.31	112.11	111.93	0.0098	0.0012	0.0165	54.55	2.65	ML
85C	20.31	112.11	112.70	0.0195	0.0012	0.0165	54.55	2.65	ML
86A	21.87	194.48	146.06	0.0093	0.0041	-0.52	49.75	2.65	ML
86B	21.87	194.48	147.54	0.0093	0.0041	-0.52	49.75	2.65	ML
86C	21.87	194.48	178.17	0.0149	0.0041	-0.52	49.75	2.65	ML
87A	23.31	74.06	33.26	0.0149	0.0013	0.0009	43.82	2.60	CL
87B	23.31	74.06	110.39	0.0095	0.0013	0.0009	43.82	2.60	CL
87C	23.31	74.06	119.75	0.0193	0.0013	0.0009	43.82	2.60	CL
88A	24.79	203.73	132.88	0.0102	0.0015	-0.154	50.50	2.62	CL
88B	24.79	203.73	198.36	0.0095	0.0015	-0.154	50.50	2.62	CL
88C	24.79	203.73	227.38	0.0143	0.0015	-0.154	50.50	2.62	CL

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. Ángulo de fricción [°]; cohesión [KPa]; Módulo elástico medio [MPa]; deformación unitaria [m/m]; pendiente elástica: regresión lineal de los módulos elásticos [Pa/Pa]; b_elástica: intercepto de la pendiente elástica [MPa]; porosidad [%]; GS: peso específico de los sólidos; clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Anexo 2. Casos atípicos ($\sigma_3=50$ KPa)				

Anexo 2.1. Módulo elástico medio [MPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		50,1387	6,82009
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	36,3847	
	Límite superior	63,8928	
Media recortada al 5%		44,7022	
Mediana		35,5897	
Varianza		2046,599	
Desviación típica		45,23935	
Mínimo		4,73	
Máximo		247,57	
Rango		242,84	
Amplitud intercuartil		32,4152	
Asimetría		2,523	,357
Curtosis		8,002	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	41A	247,57
	2	86A	146,06
	3	84A	143,73
	4	88A	132,88
	5	82A	95,62
Menores	1	21A	4,73
	2	43A	7,23
	3	42A	7,81
	4	51A	11,56
	5	12A	12,90

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	7,3752	12,2292	26,2567	35,5897	58,6719	114,2510	145,4746
Bisagras de Tukey			26,5600	35,5897	58,0541		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

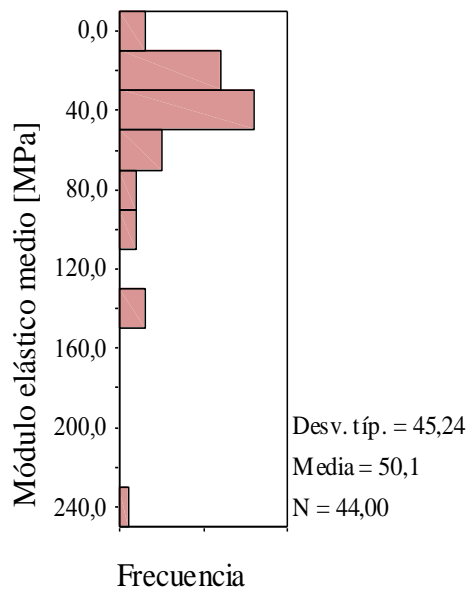


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

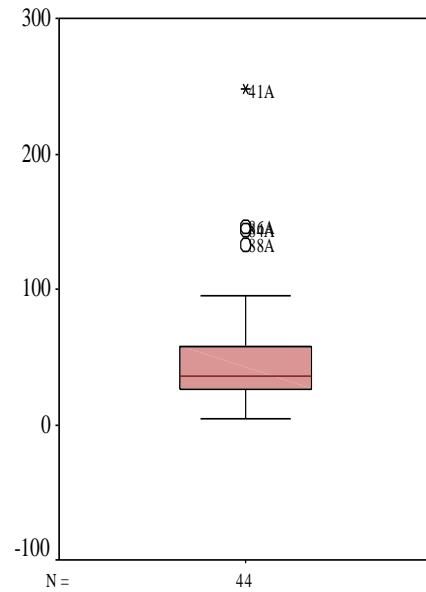


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

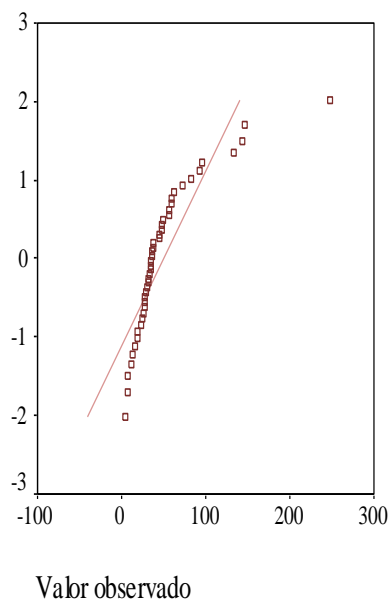
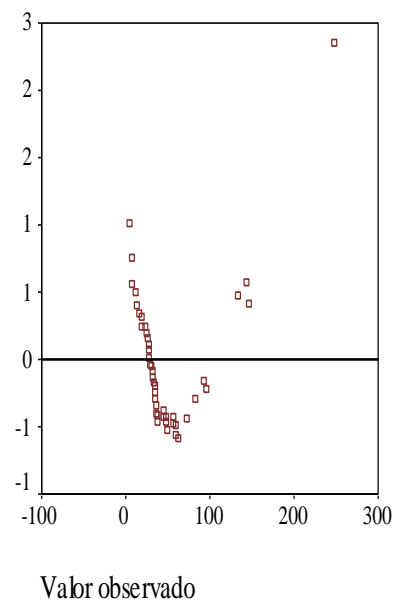


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 2.2. Esfuerzo desviador [KPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		354,323	23,6607
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	306,606	
	Límite superior	402,039	
Media recortada al 5%		347,023	
Mediana		357,100	
Varianza		24632,559	
Desviación típica		156,9476	
Mínimo		34,2	
Máximo		835,8	
Rango		801,6	
Amplitud intercuartil		165,125	
Asimetría		,766	,357
Curtosis		1,322	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	41A	835,8
	2	88A	717,2
	3	86A	630,8
	4	62A	571,6
	5	02A	554,7
Menores	1	21A	34,2
	2	51A	106,7
	3	43A	140,2
	4	23A	174,4
	5	78A	191,6

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	115,075	183,000	245,475	357,100	410,600	563,150	695,600
Bisagras de Tukey			246,550	357,100	409,300		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

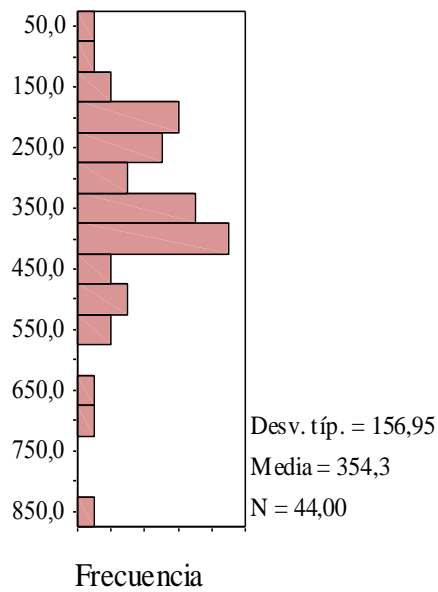


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

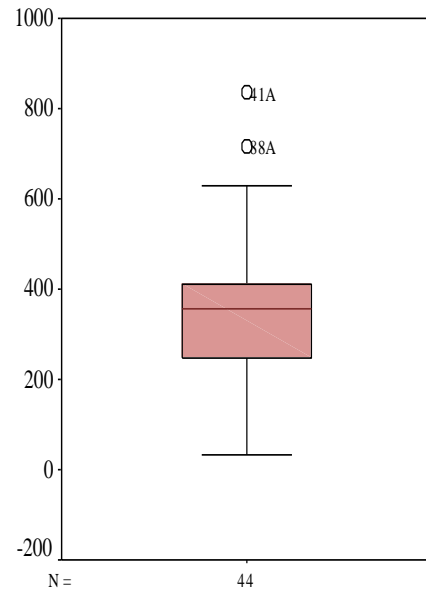


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

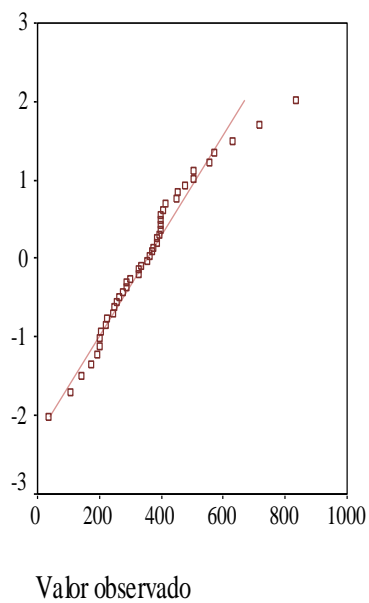


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

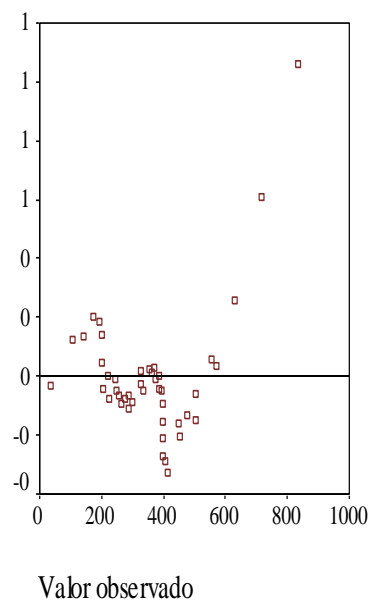


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 2.3. Ángulo de fricción [°].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		27,0827	1,10161
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	24,8611	
	Límite superior	29,3043	
Media recortada al 5%		27,7936	
Mediana		28,2200	
Varianza		53,396	
Desviación típica		7,30727	
Mínimo		-2,71	
Máximo		37,87	
Rango		40,58	
Amplitud intercuartil		7,3350	
Asimetría		-1,831	,357
Curtosis		5,720	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	14A	37,87
	2	02A	35,97
	3	53A	35,87
	4	01A	35,74
	5	12A	35,71
Menores	1	42A	-2,71
	2	43A	9,60
	3	51A	15,54
	4	21A	19,14
	5	85A	20,31

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	11,0850	19,7250	24,1550	28,2200	31,4900	35,7250	35,9450
Bisagras de Tukey			24,2000	28,2200	31,4400		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

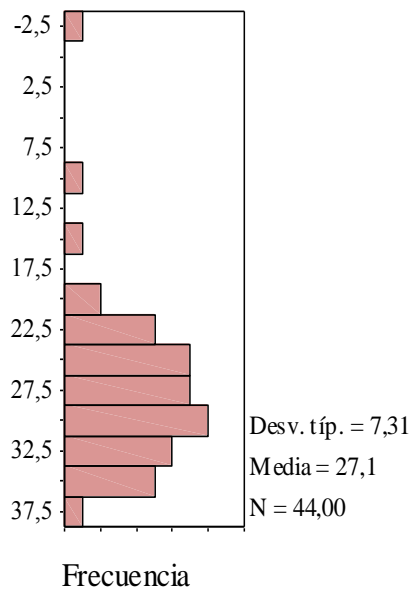


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

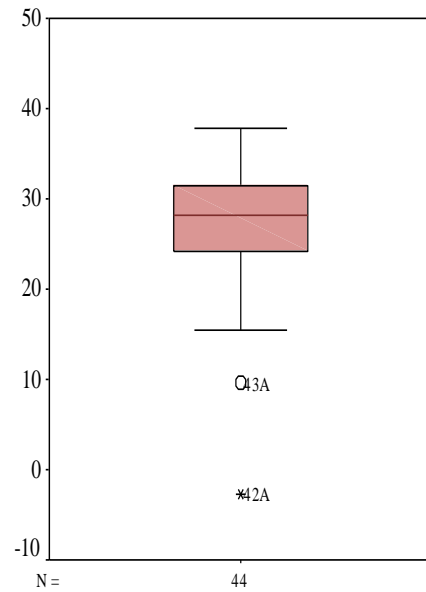


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

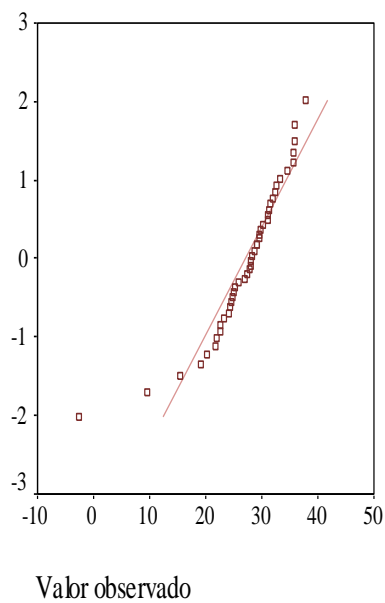


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

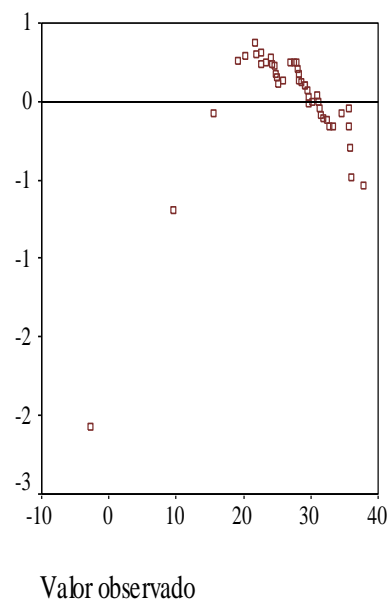


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 2.4. Cohesión [KPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		82,4640	6,78088
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	68,7891	
	Límite superior	96,1390	
Media recortada al 5%		79,8960	
Mediana		78,5040	
Varianza		2023,134	
Desviación típica		44,97926	
Mínimo		,00	
Máximo		203,73	
Rango		203,73	
Amplitud intercuartil		58,4203	
Asimetría		,987	,357
Curtosis		1,151	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	88A	203,73
	2	41A	194,87
	3	86A	194,48
	4	62A	150,23
	5	82A	140,34
Menores	1	21A	,00
	2	12A	21,23
	3	51A	29,04
	4	23A	32,78
	5	14A	36,88

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	23,1817	34,8298	50,0340	78,5040	108,4543	145,2866	194,7759
Bisagras de Tukey			50,1800	78,5040	108,1490		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

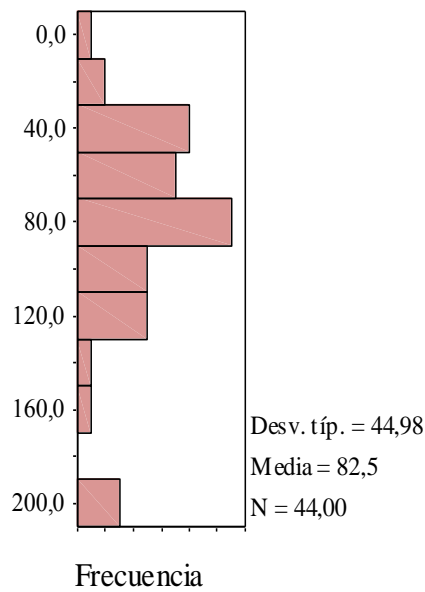


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

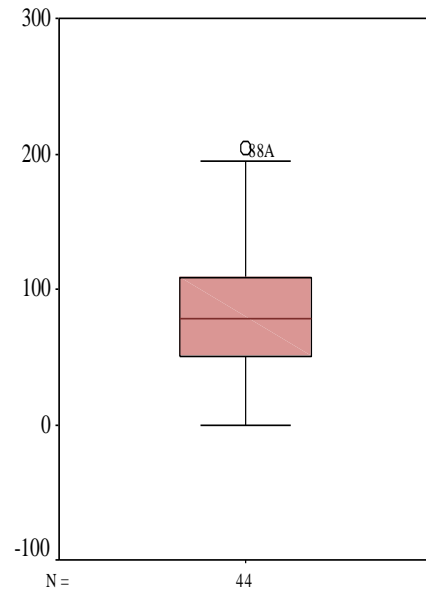


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

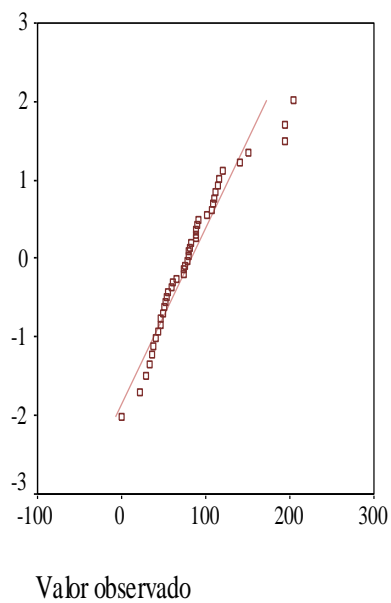


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

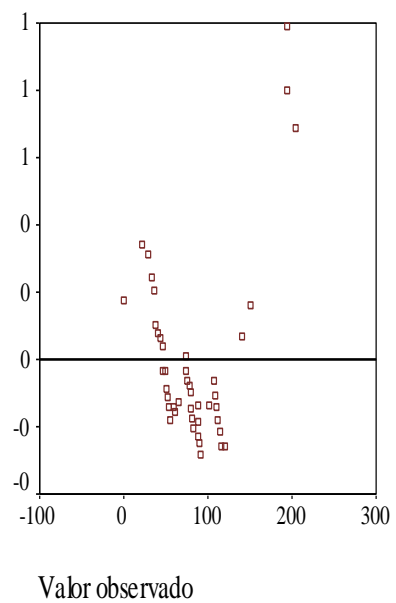


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 2.5. Densidad seca [KN/m3].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		12,6275	,19099
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	12,2423	
	Límite superior	13,0127	
Media recortada al 5%		12,6993	
Mediana		12,6855	
Varianza		1,605	
Desviación típica		1,26691	
Mínimo		7,76	
Máximo		14,82	
Rango		7,06	
Amplitud intercuartil		1,5704	
Asimetría		-1,168	,357
Curtosis		3,823	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	84A	14,82
	2	87A	14,62
	3	83A	14,40
	4	71A	14,29
	5	51A	14,25
Menores	1	43A	7,76
	2	33A	10,38
	3	77A	11,28
	4	32A	11,30
	5	21A	11,30

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	10,6043	11,2977	11,8706	12,6855	13,4410	14,2691	14,5626
Bisagras de Tukey			11,9313	12,6855	13,4335		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

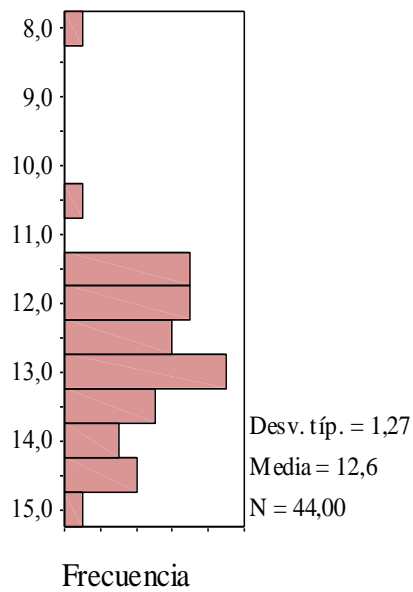


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

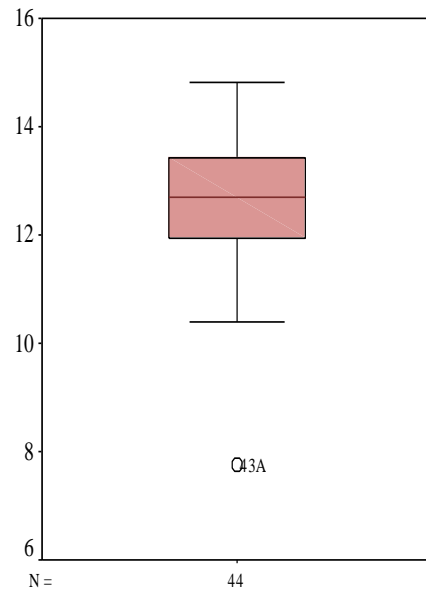


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

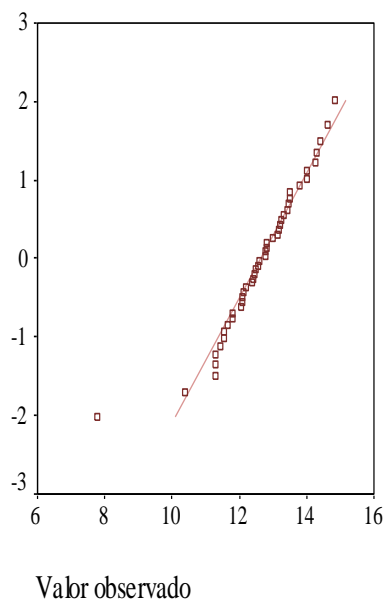
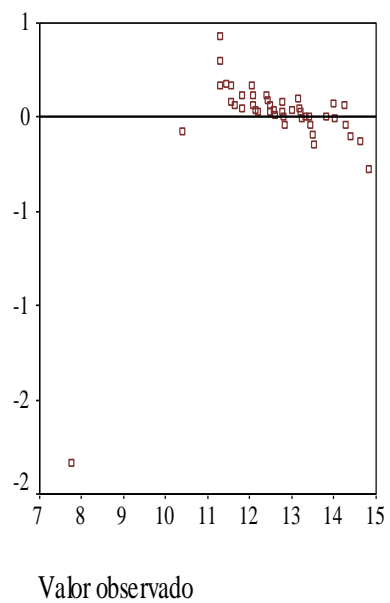


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 3. Casos atípicos ($\sigma_3=100$ KPa)				

Anexo 3.1. Módulo elástico medio [MPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		94,5077	8,63149
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	77,1006	
	Límite superior	111,9147	
Media recortada al 5%		89,3488	
Mediana		83,5468	
Varianza		3278,112	
Desviación típica		57,25480	
Mínimo		14,59	
Máximo		338,19	
Rango		323,60	
Amplitud intercuartil		64,2223	
Asimetría		1,986	,357
Curtosis		6,490	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	41B	338,19
	2	88B	198,36
	3	82B	176,94
	4	83B	175,69
	5	84B	170,29
Menores	1	21B	14,59
	2	51B	26,06
	3	76B	37,70
	4	43B	38,67
	5	26B	45,24

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	28,9692	41,9550	55,0271	83,5468	119,2494	172,9898	193,0067
Bisagras de Tukey			55,1020	83,5468	119,0265		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

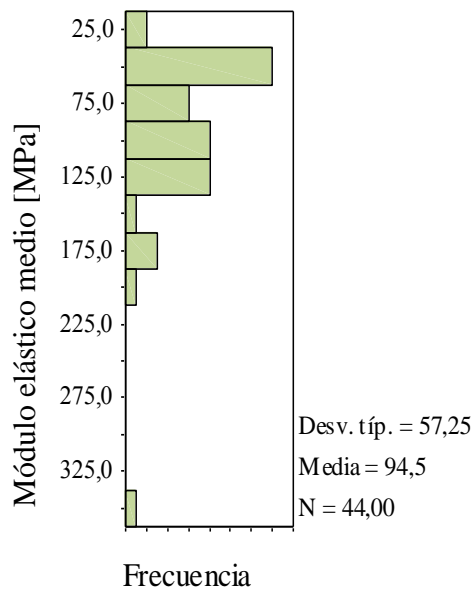


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

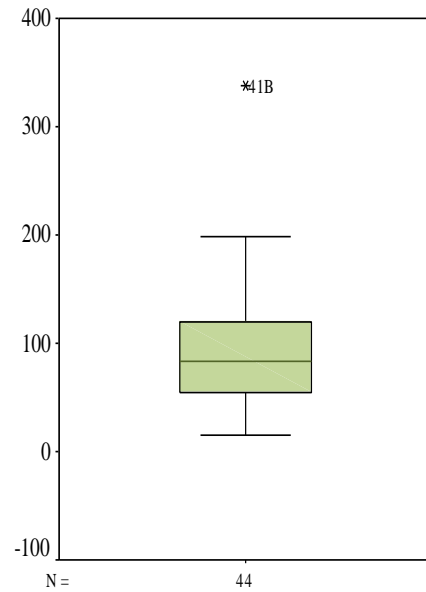


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

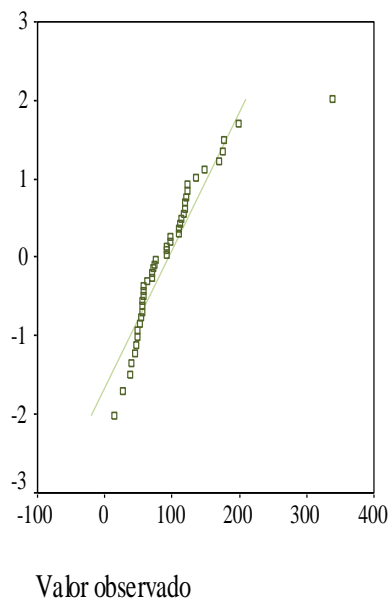
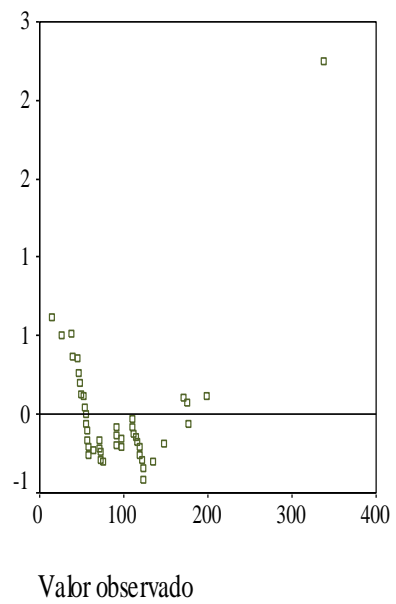


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 3.2. Esfuerzo desviador [KPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		448,566	25,2046
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	397,736	
	Límite superior	499,396	
Media recortada al 5%		444,515	
Mediana		465,500	
Varianza		27951,959	
Desviación típica		167,1884	
Mínimo		88,0	
Máximo		941,1	
Rango		853,1	
Amplitud intercuartil		191,175	
Asimetría		,343	,357
Curtosis		,946	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	41B	941,1
	2	88B	769,3
	3	02B	725,4
	4	86B	701,3
	5	16B	627,4
Menores	1	21B	88,0
	2	43B	158,8
	3	51B	159,1
	4	42B	208,5
	5	23B	238,8

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	158,875	223,650	335,325	465,500	526,500	664,350	758,325
Bisagras de Tukey			335,850	465,500	523,500		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

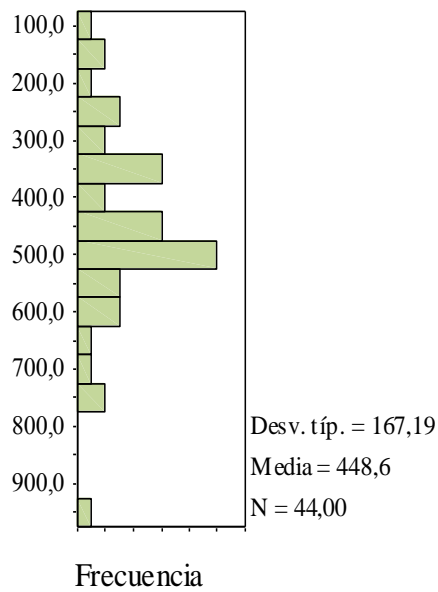


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

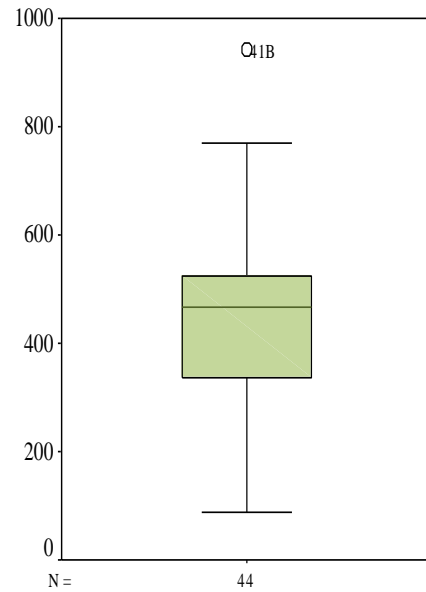


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

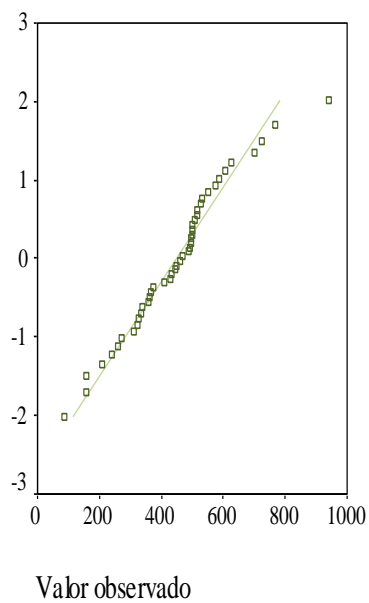


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

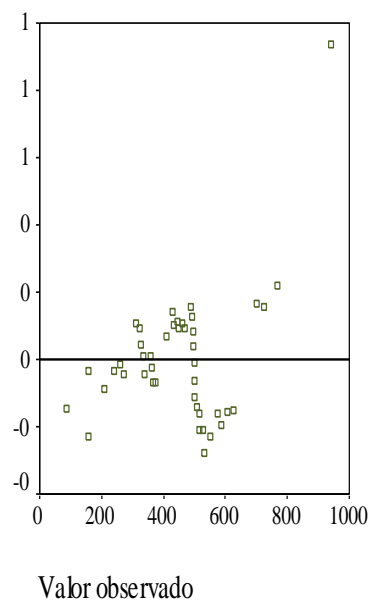


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 3.3. Ángulo de fricción [°].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		27,0827	1,10161
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	24,8611	
	Límite superior	29,3043	
Media recortada al 5%		27,7936	
Mediana		28,2200	
Varianza		53,396	
Desviación típica		7,30727	
Mínimo		-2,71	
Máximo		37,87	
Rango		40,58	
Amplitud intercuartil		7,3350	
Asimetría		-1,831	,357
Curtosis		5,720	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	14B	37,87
	2	02B	35,97
	3	53B	35,87
	4	01B	35,74
	5	12B	35,71
Menores	1	42B	-2,71
	2	43B	9,60
	3	51B	15,54
	4	21B	19,14
	5	85B	20,31

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	11,0850	19,7250	24,1550	28,2200	31,4900	35,7250	35,9450
Bisagras de Tukey			24,2000	28,2200	31,4400		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

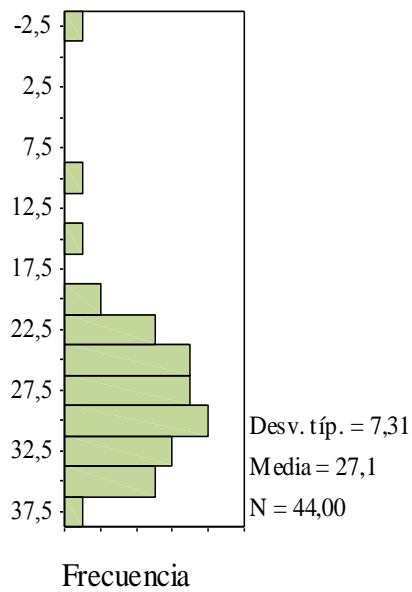


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

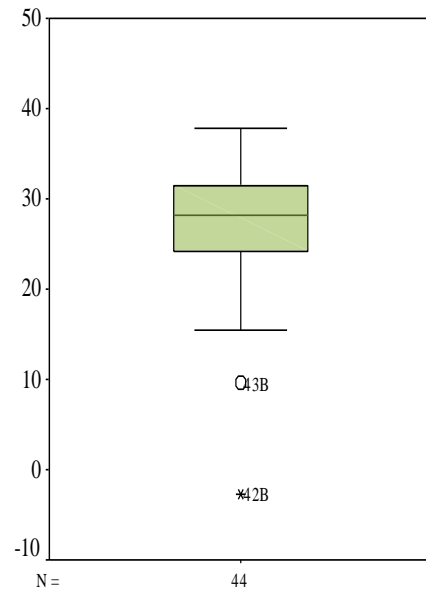


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

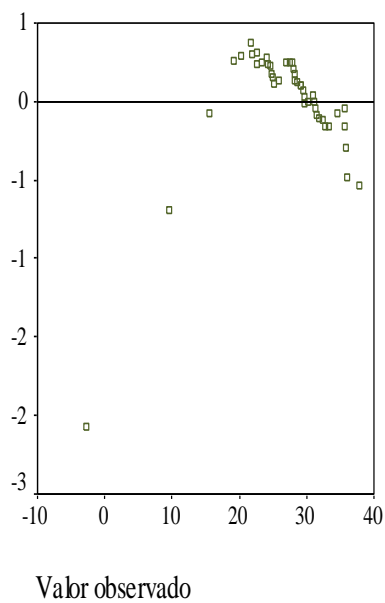


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

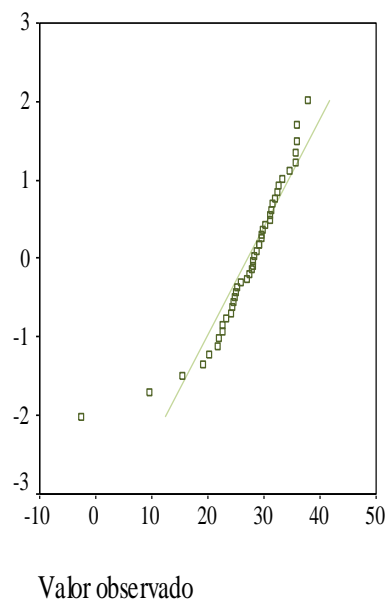


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 3.4. Cohesión [KPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		82,4640	6,78088
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	68,7891	
	Límite superior	96,1390	
Media recortada al 5%		79,8960	
Mediana		78,5040	
Varianza		2023,134	
Desviación típica		44,97926	
Mínimo		,00	
Máximo		203,73	
Rango		203,73	
Amplitud intercuartil		58,4203	
Asimetría		,987	,357
Curtosis		1,151	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	88B	203,73
	2	41B	194,87
	3	86B	194,48
	4	62B	150,23
	5	82B	140,34
Menores	1	21B	,00
	2	12B	21,23
	3	51B	29,04
	4	23B	32,78
	5	14B	36,88

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	23,1817	34,8298	50,0340	78,5040	108,4543	145,2866	194,7759
Bisagras de Tukey			50,1800	78,5040	108,1490		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

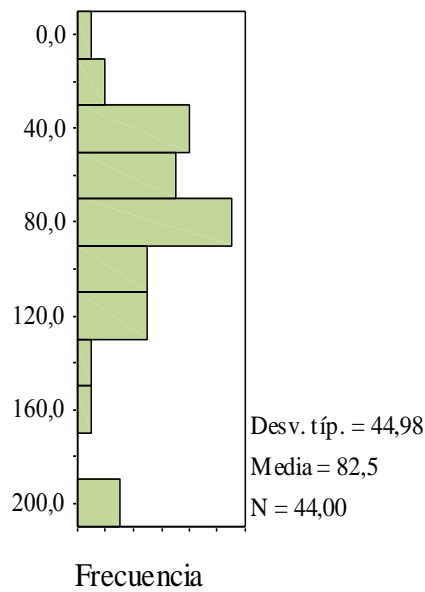


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

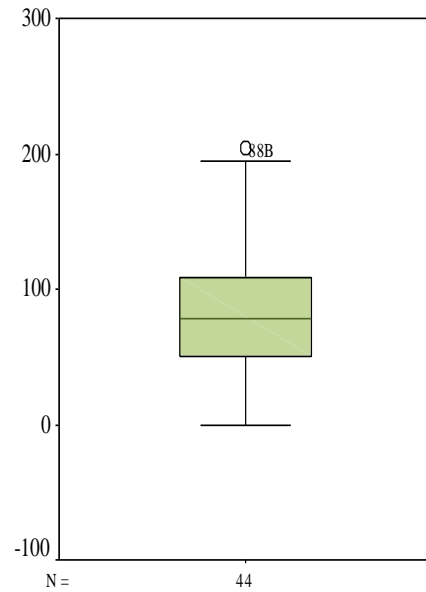


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

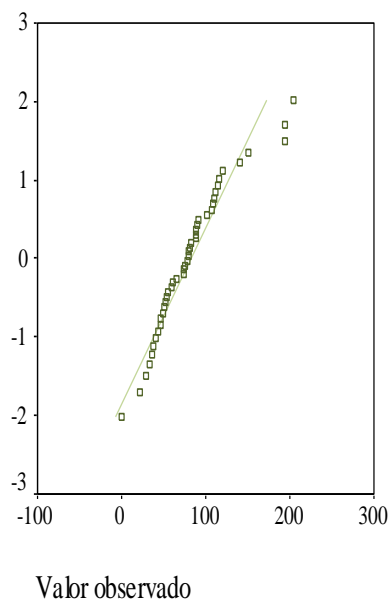


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

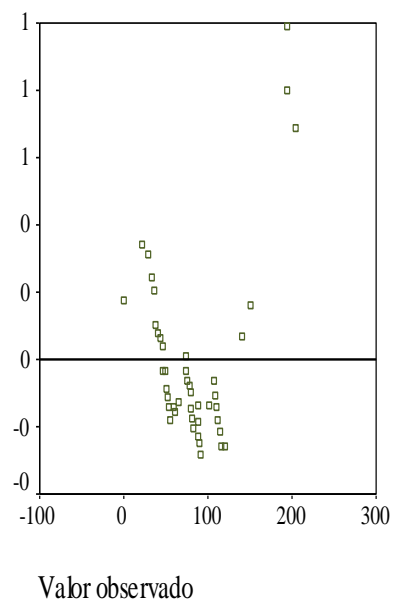


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 3.5. Densidad seca [KN/m3].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		12,7118	,15602
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	12,3972	
	Límite superior	13,0265	
Media recortada al 5%		12,7063	
Mediana		12,6280	
Varianza		1,071	
Desviación típica		1,03494	
Mínimo		10,38	
Máximo		14,74	
Rango		4,36	
Amplitud intercuartil		1,5491	
Asimetría		,091	,357
Curtosis		-,599	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	84B	14,74
	2	87B	14,62
	3	83B	14,40
	4	71B	14,29
	5	51B	14,25
Menores	1	33B	10,38
	2	77B	11,28
	3	32B	11,30
	4	21B	11,30
	5	15B	11,44

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	11,2811	11,3709	11,8706	12,6280	13,4197	14,2691	14,5626
Bisagras de Tukey			11,9313	12,6280	13,3909		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

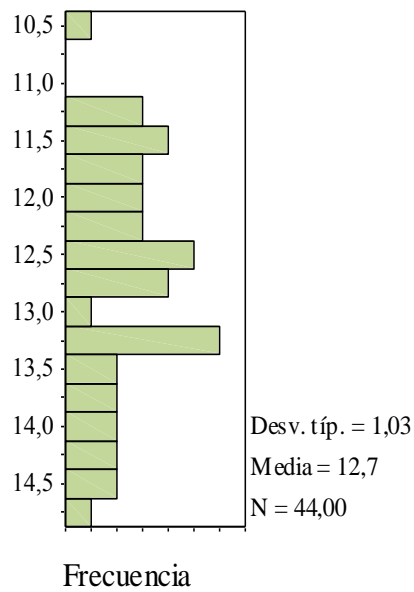


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

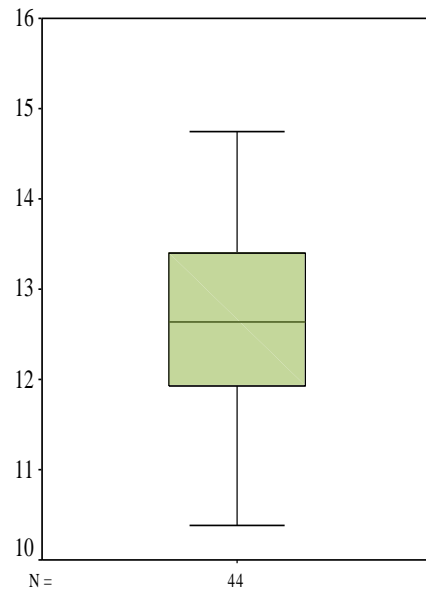


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

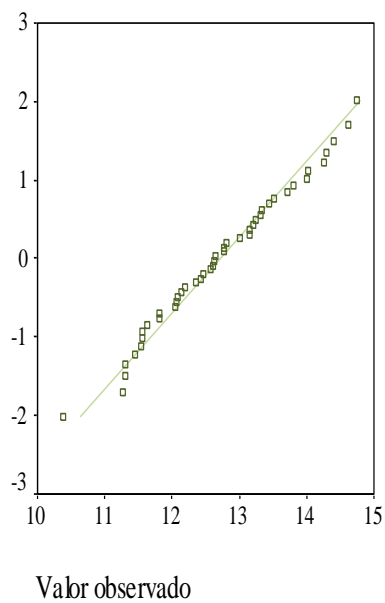
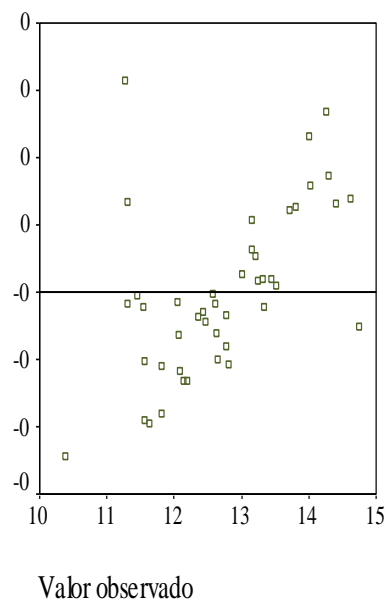


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 4. Casos atípicos ($\sigma_3=200$ KPa)				

Anexo 4.1. Módulo elástico medio [MPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		116,5368	10,97151
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	94,4106	
	Límite superior	138,6629	
Media recortada al 5%		108,8616	
Mediana		104,7451	
Varianza		5296,459	
Desviación típica		72,77677	
Mínimo		29,47	
Máximo		476,45	
Rango		446,98	
Amplitud intercuartil		75,0222	
Asimetría		2,911	,357
Curtosis		13,237	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	41C	476,45
	2	88C	227,38
	3	83C	188,63
	4	62C	180,10
	5	86C	178,17
Menores	1	21C	29,47
	2	43C	37,41
	3	51C	41,32
	4	42C	46,07
	5	02C	50,92

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	38,3835	48,4978	70,7680	104,7451	145,7902	179,1336	217,695
Bisagras de Tukey			72,4660	104,7451	145,6651		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

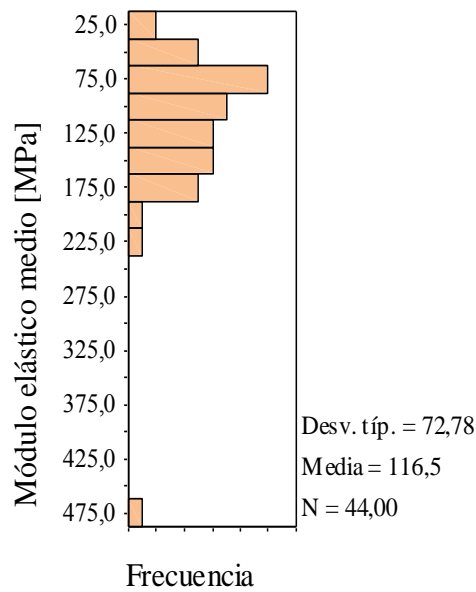


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

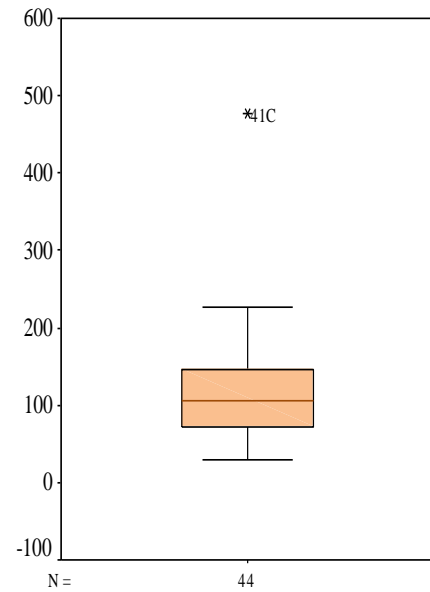


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

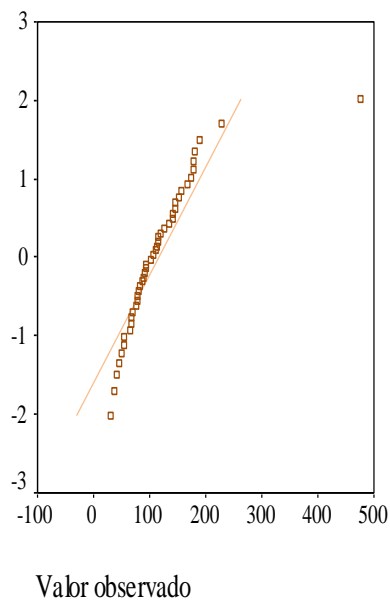
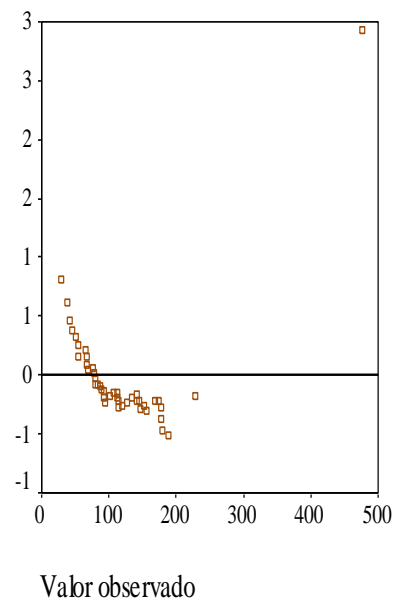


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 4.2. Esfuerzo desviador [KPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		610,880	31,8201
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	546,708	
	Límite superior	675,051	
Media recortada al 5%		608,859	
Mediana		638,350	
Varianza		44550,937	
Desviación típica		211,0709	
Mínimo		180,5	
Máximo		1186,3	
Rango		1005,8	
Amplitud intercuartil		276,500	
Asimetría		-,009	,357
Curtosis		,547	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	41C	1186,3
	2	02C	985,2
	3	88C	929,9
	4	72C	837,8
	5	16C	825,7
Menores	1	21C	180,5
	2	42C	190,0
	3	43C	199,5
	4	51C	219,6
	5	78C	379,6

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	192,375	299,600	479,750	638,350	756,250	831,750	971,375
Bisagras de Tukey			479,900	638,350	751,500		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

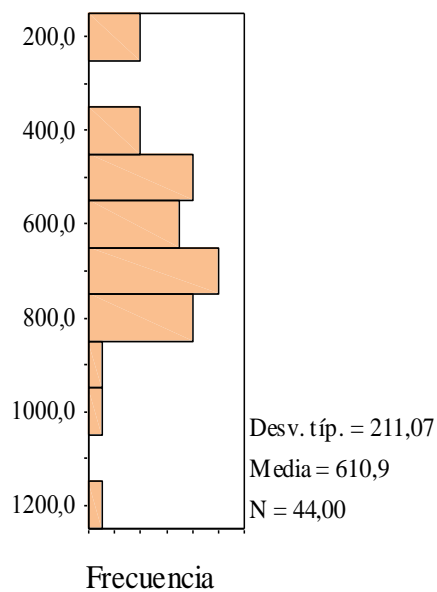


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

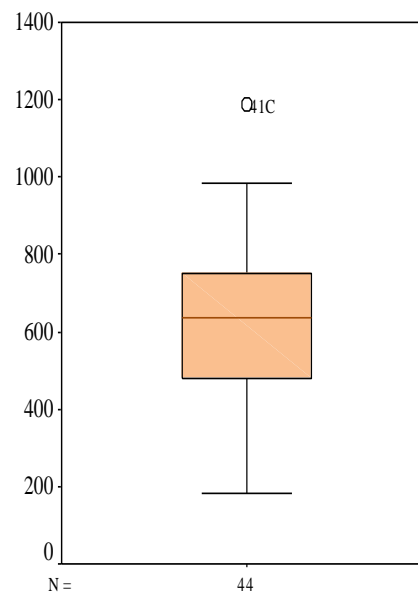


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

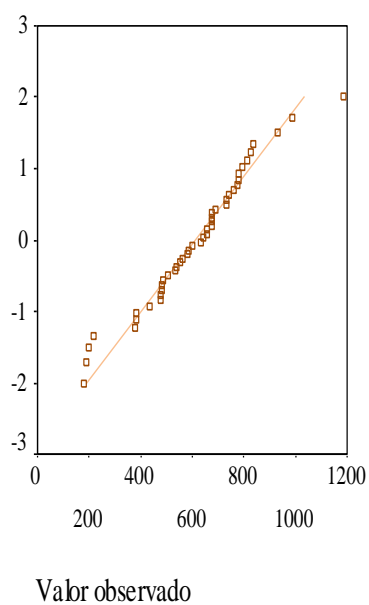
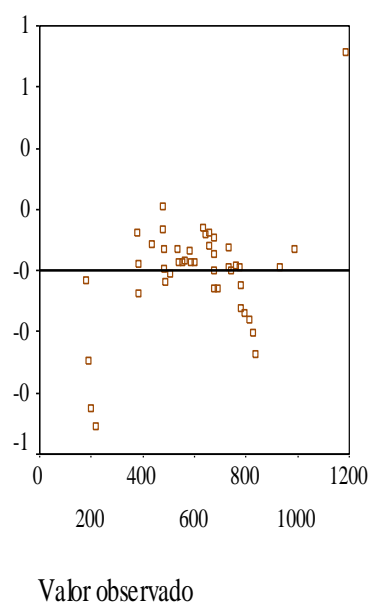


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 4.3. Ángulo de fricción [°].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		27,0827	1,10161
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	24,8611	
	Límite superior	29,3043	
Media recortada al 5%		27,7936	
Mediana		28,2200	
Varianza		53,396	
Desviación típica		7,30727	
Mínimo		-2,71	
Máximo		37,87	
Rango		40,58	
Amplitud intercuartil		7,3350	
Asimetría		-1,831	,357
Curtosis		5,720	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	14C	37,87
	2	02C	35,97
	3	53C	35,87
	4	01C	35,74
	5	12C	35,71
Menores	1	42C	-2,71
	2	43C	9,60
	3	51C	15,54
	4	21C	19,14
	5	85C	20,31

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	11,0850	19,7250	24,1550	28,2200	31,4900	35,7250	35,9450
Bisagras de Tukey			24,2000	28,2200	31,4400		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

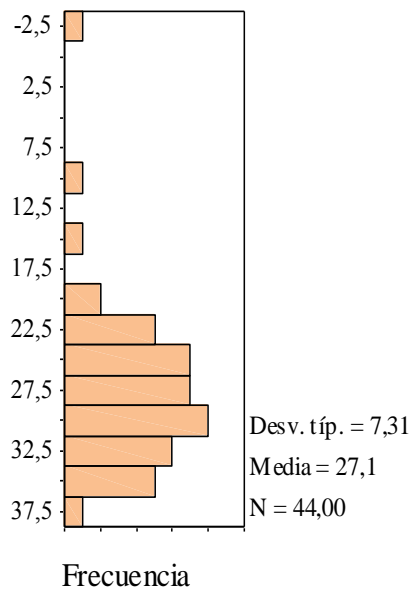


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

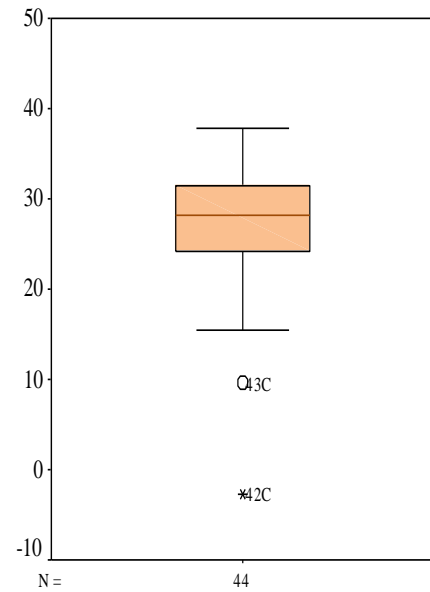


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

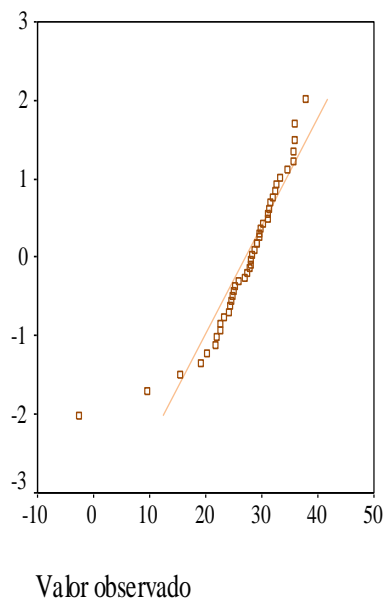


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

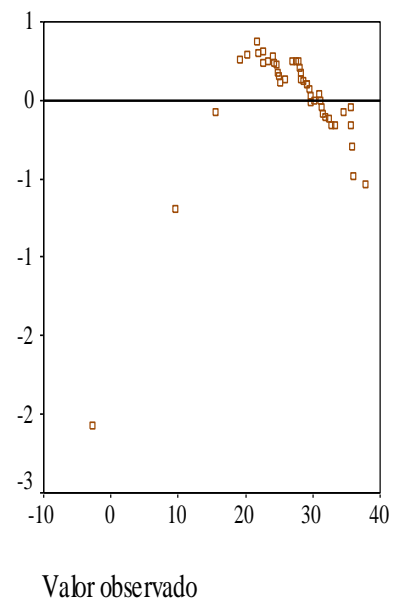


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 4.4. Cohesión [KPa].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		82,4640	6,78088
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	68,7891	
	Límite superior	96,1390	
Media recortada al 5%		79,8960	
Mediana		78,5040	
Varianza		2023,134	
Desviación típica		44,97926	
Mínimo		,00	
Máximo		203,73	
Rango		203,73	
Amplitud intercuartil		58,4203	
Asimetría		,987	,357
Curtosis		1,151	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	88C	203,73
	2	41C	194,87
	3	86C	194,48
	4	62C	150,23
	5	82C	140,34
Menores	1	21C	,00
	2	12C	21,23
	3	51C	29,04
	4	23C	32,78
	5	14C	36,88

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	23,1817	34,8298	50,0340	78,5040	108,4543	145,2866	194,7759
Bisagras de Tukey			50,1800	78,5040	108,1490		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

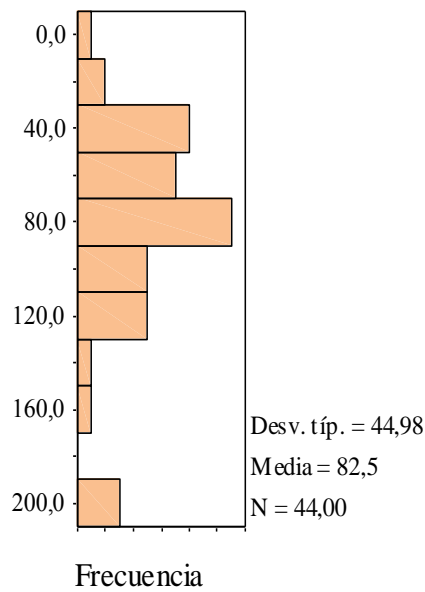


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

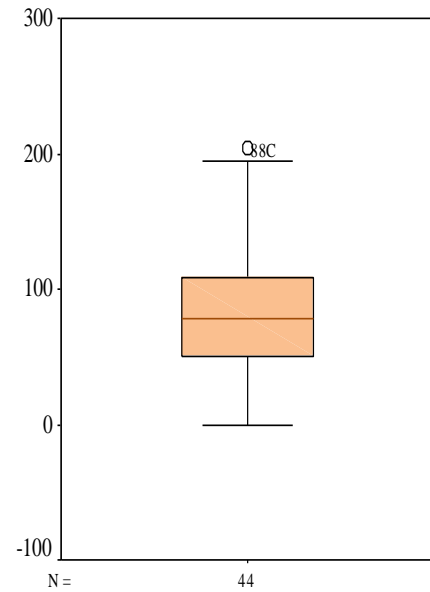


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

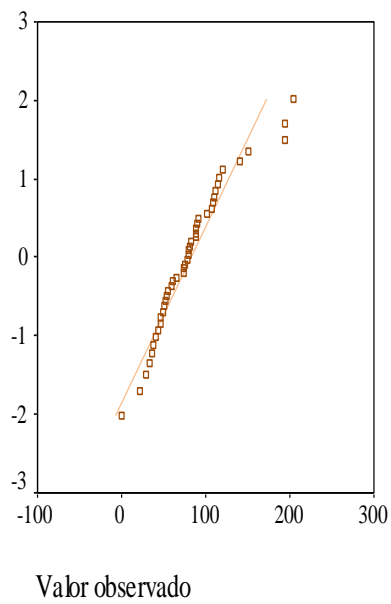


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

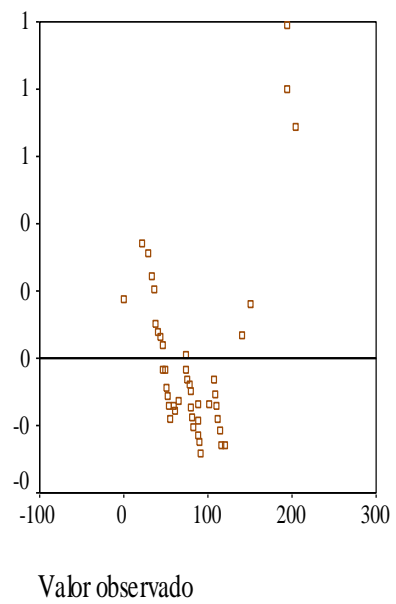


Figura -4. Diagrama Q-Q normal sin tendencia.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 4.5. Densidad seca [KN/m3].

Tabla -1. Resumen del procesamiento de los casos

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
44	100,0%	0	,0%	44	100,0%

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Descriptivos

		Estadístico	Error típico
Media		12,7031	,15516
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	12,3902	
	Límite superior	13,0160	
Media recortada al 5%		12,6966	
Mediana		12,6280	
Varianza		1,059	
Desviación típica		1,02925	
Mínimo		10,38	
Máximo		14,74	
Rango		4,36	
Amplitud intercuartil		1,5513	
Asimetría		,120	,357
Curtosis		-,547	,702

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Valores extremos

		NOM_MUES	Valor
Mayores	1	84C	14,74
	2	87C	14,62
	3	83C	14,40
	4	71C	14,29
	5	51C	14,25
Menores	1	33C	10,38
	2	77C	11,28
	3	32C	11,30
	4	21C	11,30
	5	15C	11,44

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Percentiles

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Promedio ponderado	11,2811	11,3709	11,8684	12,6280	13,4197	14,2691	14,5626
Bisagras de Tukey			11,9269	12,6280	13,3909		

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

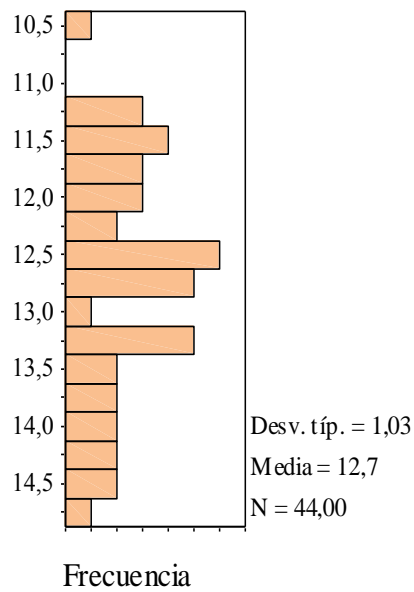


Figura -1. Histograma
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

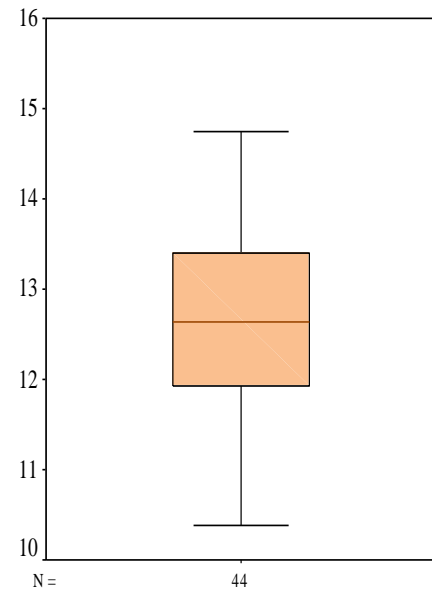


Figura -2. Gráfico de cajas y bigotes
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

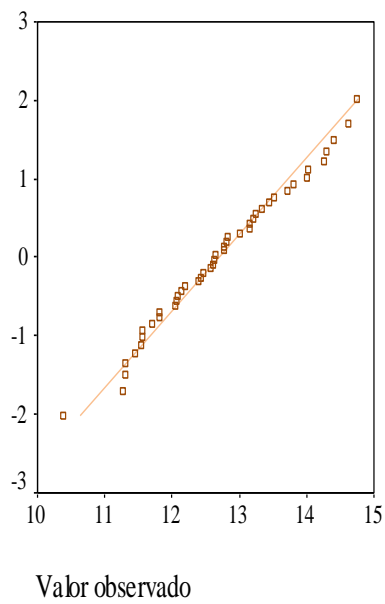
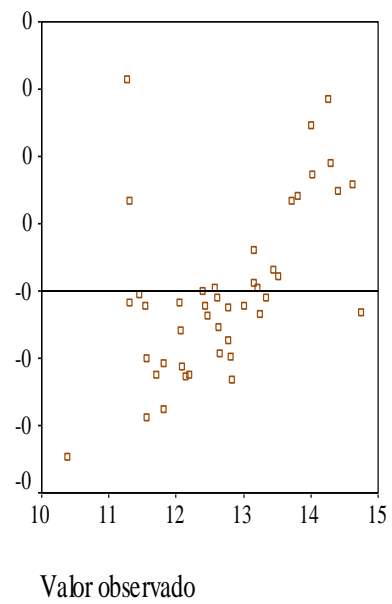


Figura -3. Diagrama Q-Q normal.
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez



**Figura -4. Diagrama Q-Q normal
sin tendencia.**
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Anexo 5. Muestras excluidas				

Tabla -1. Resumen casos atípicos esfuerzo confinamiento $\sigma_3=50$ KPa

	Módulo elástico	Esfuerzo desviador	Ángulo de fricción	Cohesión	Densidad seca
NOM_MUESTRAS	41A	41A	14A	88A	84A
	86A	88A	02A	41A	87A
	84A	86A	53A	86A	83A
	88A	62A	01A	62A	71A
	82A	02A	12A	82A	51A
	21A	21A	42A	21A	43A
	43A	51A	43A	12A	33A
	42A	43A	51A	51A	77A
	51A	23A	21A	23A	32A
	12A	78A	85A	14A	21A

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -2. Resumen casos atípicos esfuerzo confinamiento $\sigma_3=100$ KPa

	Módulo elástico	Esfuerzo desviador	Ángulo de fricción	Cohesión	Densidad seca
NOM_MUESTRAS	41B	41B	14B	88B	84B
	88B	88B	02B	41B	87B
	82B	02B	53B	86B	83B
	83B	86B	01B	62B	71B
	84B	16B	12B	82B	51B
	21B	21B	42B	21B	33B
	51B	43B	43B	12B	77B
	76B	51B	51B	51B	32B
	43B	42B	21B	23B	21B
	26B	23B	85B	14B	15B

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -3. Resumen casos atípicos esfuerzo confinamiento $\sigma_3=200$ KPa

	Módulo elástico	Esfuerzo desviador	Ángulo de fricción	Cohesión	Densidad seca
NOM_MUESTRAS	41C	41C	14C	88C	84C
	88C	02C	02C	41C	87C
	83C	88C	53C	86C	83C
	62C	72C	01C	62C	71C
	86C	16C	12C	82C	51C
	21C	21C	42C	21C	33C
	43C	42C	43C	12C	77C
	51C	43C	51C	51C	32C
	42C	51C	21C	23C	21C
	02C	78C	85C	14C	15C

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Tabla -4. Muestras excluidas

NOM_MUES	VECES	NOM_MUES	VECES	NOM_MUES	VECES
01A	1 REPETICIÓN	32C	1 REPETICIÓN	62B	1 REPETICIÓN
01B	1 REPETICIÓN	33A	1 REPETICIÓN	62C	2 REPETICIONES
01C	1 REPETICIÓN	33B	1 REPETICIÓN	62C	
02A	2 REPETICIONES	33C	1 REPETICIÓN	71A	1 REPETICIÓN
02A		41A	3 REPETICIONES	71B	1 REPETICIÓN
02B	2 REPETICIONES	41A		71C	1 REPETICIÓN
02B		41A		72C	1 REPETICIÓN
02C	3 REPETICIONES	41B	3 REPETICIONES	76B	1 REPETICIÓN
02C		41B		77A	1 REPETICIÓN
02C		41B		77B	1 REPETICIÓN
12A	3 REPETICIONES	41C	3 REPETICIONES	77C	1 REPETICIÓN
12A		41C		78A	1 REPETICIÓN
12A		41C		78C	1 REPETICIÓN
12B	2 REPETICIONES	42A	2 REPETICIONES	82A	2 REPETICIONES
12B		42A		82A	
12C	2 REPETICIONES	42B	2 REPETICIONES	82B	2 REPETICIONES
12C		42B		82B	
14A	2 REPETICIONES	42C	3 REPETICIONES	82C	1 REPETICIÓN
14A		42C		83A	1 REPETICIÓN
14B	2 REPETICIONES	42C		83B	2 REPETICIONES
14B		43A	4 REPETICIONES	83B	
14C	2 REPETICIONES	43A		83C	2 REPETICIONES
14C		43A		83C	
15B	1 REPETICIÓN	43A		84A	2 REPETICIONES
15C	1 REPETICIÓN	43B	3 REPETICIONES	84A	
16B	1 REPETICIÓN	43B		84B	2 REPETICIONES
16C	1 REPETICIÓN	43B		84B	
21A	5 REPETICIONES	43C	3 REPETICIONES	84C	1 REPETICIÓN
21A		43C		85A	1 REPETICIÓN
21A		43C		85B	1 REPETICIÓN
21A		51A	5 REPETICIONES	85C	1 REPETICIÓN
21A		51A		86A	3 REPETICIONES
21B	5 REPETICIONES	51A		86A	
21B		51A		86A	
21B		51B	5 REPETICIONES	86B	2 REPETICIONES
21B		51B		86B	
21B		51B		86C	2 REPETICIONES
21C	5 REPETICIONES	51B		86C	
21C		51B		87A	1 REPETICIÓN
21C		51B		87B	1 REPETICIÓN
21C		51C	5 REPETICIONES	87C	1 REPETICIÓN
21C		51C		88A	3 REPETICIONES
23A	2 REPETICIONES	51C		88A	
23A		51C		88A	
23B	2 REPETICIONES	51C		88B	3 REPETICIONES
23B		53A	1 REPETICIÓN	88B	
23C	1 REPETICIÓN	53B	1 REPETICIÓN	88B	
26B	1 REPETICIÓN	53C	1 REPETICIÓN	88C	3 REPETICIONES
32A	1 REPETICIÓN	62A	2 REPETICIONES	88C	
32B	1 REPETICIÓN	62A		88C	

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez

Los casos descritos en las Tablas 5-1, 5-2, 5-3 y recogidos en la Tabla 5-4 son descartados, para la investigación del Módulo de Deformación de la cangahua, por las causas atípicas expuestas en los Anexos 2, 3 y 4. A la par, se eliminan los casos, Figura 5-1, que corresponde a Clasificación SUCS- CL (arcillas), que corresponde a las muestras 81A, 81B y 81C.

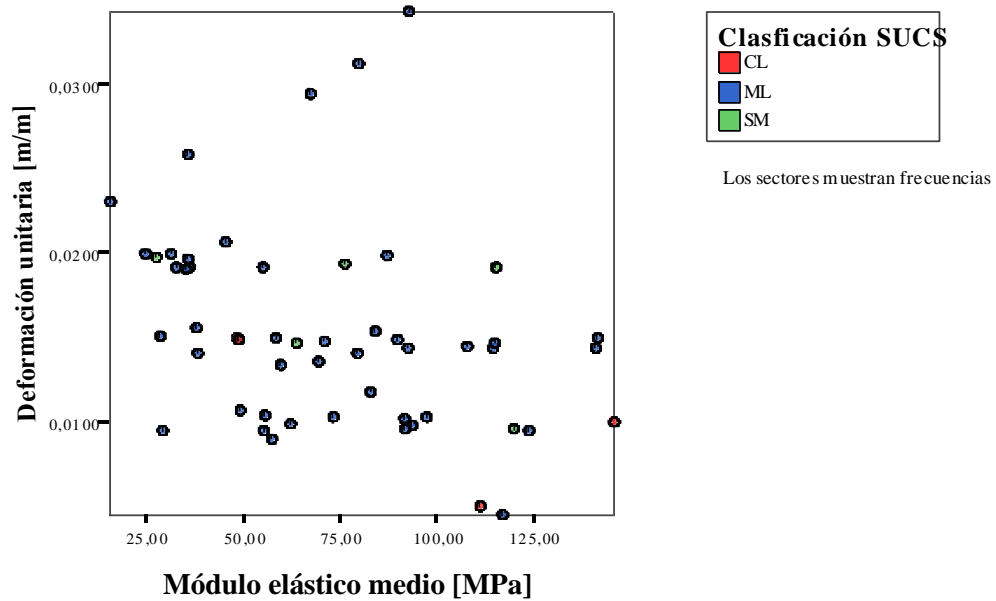


Figura -1. Clasificación SUCS en Deformación unitaria versus Módulo elástico medio.

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez.

Anexo 6. Datos muestrales				

Anexo 6.1. Datos muestrales. Primera parte.

NOM_MUES.	DEN_SECA	HUM_INIC.	GRAD_SAT.	REL_VAC.	ESF_DESV.	ESF_CONF.	ESF_MÁX.	P	COR_R2
11A	12.07	39.2	91.4	1.08	397.4	50.1	447.5	248.80	0.9996
11B	12.07	39.2	91.4	1.08	497.7	99.3	597.0	348.15	0.9996
11C	12.07	39.2	91.4	1.08	676.4	201.0	877.4	539.20	0.9996
13A	13.45	33.1	96.0	0.87	288.5	50.0	338.5	194.25	0.9996
13B	13.45	33.1	96.0	0.87	357.2	100.3	457.5	278.90	0.9996
13C	13.45	33.1	96.0	0.87	478.3	200.4	678.7	439.55	0.9996
15A	11.44	44.2	92.6	1.21	274.4	50.0	324.4	187.20	0.9989
16A	12.42	40.1	95.8	1.09	505.6	50.4	556.0	303.20	0.9995
22A	12.46	39.6	93.8	1.11	360.3	49.8	410.1	229.95	0.9997
22B	12.46	39.6	93.8	1.11	469.0	100.4	569.4	334.90	0.9997
22C	12.46	39.6	93.8	1.11	657.2	200.9	858.1	529.50	0.9997
24A	12.38	39.7	93.5	1.11	222.1	49.3	271.4	160.35	0.9967
24B	13.31	30.0	93.5	1.11	312.4	100.8	413.2	257.00	0.9967
24C	12.38	39.7	93.5	1.11	433.9	200.5	634.4	417.45	0.9967
25A	11.56	39.3	79.9	1.32	328.6	50.4	379.0	214.70	0.9981
25B	11.56	39.3	79.8	1.32	462.0	99.9	561.9	330.90	0.9981
25C	11.56	39.3	79.8	1.32	654.8	200.9	855.7	528.30	0.9981
26A	13.15	35.4	97.2	0.92	244.4	53.0	297.4	175.20	0.9998
26B	13.15	35.4	97.2	0.92	334.8	100.3	435.1	267.70	0.9998
26C	13.15	35.4	97.2	0.92	504.9	200.5	705.4	452.95	0.9998
27A	11.81	44.0	96.2	1.17	248.7	50.3	299.0	174.65	1.0000
27C	11.81	44.0	96.2	1.17	480.2	200.0	680.2	440.10	1.0000
31A	13.48	33.5	96.1	0.88	397.9	50.3	448.2	249.25	1.0000
31B	13.71	33.5	100.0	0.84	499.0	100.5	599.5	350.00	1.0000
31C	13.71	33.5	100.0	0.84	689.1	200.1	889.2	544.65	1.0000

Continúa...

NOM_MUES.	DEN_SECA	HUM_INIC.	GRAD_SAT.	REL_VAC.	ESF_DESV.	ESF_CONF.	ESF_MÁX.	p	COR_R2
52A	13.16	34.5	96.8	0.88	202.8	49.3	252.1	150.70	0.9967
52B	13.16	34.5	96.8	0.88	323.6	100.8	424.4	262.60	0.9967
52C	13.16	34.5	96.8	0.88	479.6	200.7	680.3	440.50	0.9967
61A	12.80	39.8	99.2	1.05	333.2	49.9	383.1	216.50	0.9963
61B	12.80	39.8	99.2	1.05	444.3	100.9	545.2	323.05	0.9963
61C	12.80	39.8	99.2	1.05	587.1	200.1	787.2	493.65	0.9963
63A	14.00	30.0	90.0	0.87	385.2	50.1	435.3	242.70	0.9985
63B	14.00	30.0	90.0	0.87	501.8	100.7	602.5	351.60	0.9985
63C	14.00	30.0	90.0	0.87	675.5	201.7	877.2	539.45	0.9985
64A	13.51	33.2	95.8	0.88	256.5	50.1	306.6	178.35	0.9992
64B	13.51	33.2	95.8	0.88	375.6	100.9	476.5	288.70	0.9992
64C	13.51	33.2	95.8	0.88	564.0	200.4	764.4	482.40	0.9992
72A	13.24	35.2	94.1	0.98	478.3	50.0	528.3	289.15	0.9996
72B	13.24	35.2	94.1	0.98	608.2	99.9	708.1	404.00	0.9996
73A	12.19	38.6	87.6	1.17	387.6	49.8	437.4	243.60	0.9981
73B	12.19	38.6	87.6	1.17	507.5	101.1	608.6	354.85	0.9981
73C	12.19	38.6	87.6	1.17	674.7	199.7	874.4	537.05	0.9981
74A	12.76	37.9	95.8	1.02	395.5	50.9	446.4	248.65	0.9997
74B	12.76	37.9	95.8	1.02	514.9	99.2	614.1	356.65	0.9997
74C	12.76	37.9	95.8	1.02	731.1	199.6	930.7	565.15	0.9997
75A	11.56	47.1	99.6	1.21	411.9	50.9	462.8	256.85	0.9918
75B	11.56	47.1	99.6	1.21	576.0	100.5	676.5	388.50	0.9918
75C	11.56	47.1	99.6	1.21	742.0	200.5	942.5	571.50	0.9918
76A	12.61	38.8	95.5	1.05	202.4	50.6	253.0	151.80	0.9984
76C	12.61	38.8	95.5	1.05	380.6	200.7	581.3	391.00	0.9984
78B	12.57	33.7	83.8	1.02	260.2	99.9	360.1	230.00	0.9993

Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. Densidad seca [KN/m³]; humedad inicial [%]; grado de saturación [%]; esfuerzo desviador [KPa]; esfuerzo confinamiento [KPa]; esfuerzo máximo [KPa]; p: centro de círculo de Mohr [KPa]; correlación R² de la recta tangente de rotura.

Anexo 6.2. Datos muestrales. Segunda parte.

NOM. MUES.	ÁNG. FRICC.	COHE SIÓN	MÓD. ELÁS.	DEF. UNI.	PTE. ELÁS.	B. ELÁS.	PORO SIDAD	G.S.	CLAS. SUCS
11A	28.60	91.84	59.29	0.0134	0.0018	-0.059	51.92	2.51	ML
11B	28.60	91.84	114.17	0.0144	0.0018	-0.059	51.92	2.51	ML
11C	28.60	91.84	114.61	0.0147	0.0018	-0.059	51.92	2.51	ML
13A	22.68	75.90	37.54	0.0156	0.0030	-0.06	46.52	2.52	ML
13B	22.68	75.90	70.57	0.0148	0.0030	-0.06	46.52	2.52	ML
13C	22.68	75.90	69.07	0.0136	0.0030	-0.06	46.52	2.52	ML
15A	34.64	40.33	37.92	0.0141	0.0011	-0.003	54.75	2.53	ML
16A	30.98	114.38	45.12	0.0207	0.0014	-0.016	52.15	2.60	ML
22A	29.61	77.66	48.57	0.0149	0.0014	-0.03	52.61	2.63	ML
22B	29.61	77.66	116.56	0.0045	0.0014	-0.03	52.61	2.63	ML
22C	29.61	77.66	140.58	0.0144	0.0014	-0.03	52.61	2.63	ML
24A	24.11	52.28	35.36	0.0259	0.0031	-0.055	52.61	2.61	ML
24B	24.11	52.28	48.86	0.0107	0.0031	-0.055	52.61	2.61	ML
24C	24.11	52.28	83.69	0.0154	0.0031	-0.055	52.61	2.61	ML
25A	31.11	65.33	35.80	0.0192	0.0012	0.0114	56.90	2.69	SM
25B	31.11	65.33	119.47	0.0096	0.0012	0.0114	56.90	2.69	SM
25C	31.11	65.33	114.86	0.0192	0.0012	0.0114	56.90	2.69	SM
26A	27.87	46.46	28.87	0.0095	0.0039	-0.066	47.92	2.52	ML
26B	27.87	46.46	45.24	0.0148	0.0039	-0.066	47.92	2.52	ML
26C	27.87	46.46	66.99	0.0295	0.0039	-0.066	47.92	2.52	ML
27A	25.82	53.91	28.23	0.0151	0.0029	-0.041	53.92	2.55	ML
27C	25.82	53.91	79.45	0.0313	0.0029	-0.041	53.92	2.55	ML
31A	29.49	88.04	27.17	0.0198	0.0027	-0.033	46.81	2.53	SM
31B	29.49	88.04	63.39	0.0147	0.0027	-0.033	45.65	2.53	SM
31C	29.49	88.04	75.86	0.0194	0.0027	-0.033	45.65	2.53	SM

Continúa...

NOM_MUES.	ÁNG_FRICC.	COHESIÓN	MÓD_ELÁS.	DEF_UNI.	PTE_ELÁS.	B_ELÁS.	POROSIDAD	G.S.	CLAS_SUCS
52A	28.29	37.22	24.39	0.0200	0.0027	-0.026	46.81	2.48	ML
52B	28.29	37.22	56.99	0.0090	0.0027	-0.026	46.81	2.48	ML
52C	28.29	37.22	79.08	0.0141	0.0027	-0.026	46.81	2.48	ML
61A	27.02	79.64	34.90	0.0191	0.0018	-0.014	51.22	2.62	ML
61B	27.02	79.64	91.26	0.0102	0.0018	-0.014	51.22	2.62	ML
61C	27.02	79.64	92.40	0.0344	0.0018	-0.014	51.22	2.62	ML
63A	29.09	87.75	32.34	0.0192	0.0020	-0.024	46.52	2.62	ML
63B	29.09	87.75	72.92	0.0103	0.0020	-0.024	46.52	2.62	ML
63C	29.09	87.75	107.46	0.0145	0.0020	-0.024	46.52	2.62	ML
64A	30.23	46.31	15.36	0.0231	0.0020	0.0101	46.81	2.54	ML
64B	30.23	46.31	54.95	0.0095	0.0020	0.0101	46.81	2.54	ML
64C	30.23	46.31	89.42	0.0149	0.0020	0.0101	46.81	2.54	ML
72A	32.38	101.45	93.22	0.0098	0.0026	-0.201	49.49	2.62	ML
72B	32.38	101.45	123.35	0.0095	0.0026	-0.201	49.49	2.62	ML
73A	29.09	88.81	35.38	0.0197	0.0017	-0.007	53.92	2.65	ML
73B	29.09	88.81	91.38	0.0096	0.0017	-0.007	53.92	2.65	ML
73C	29.09	88.81	86.73	0.0199	0.0017	-0.007	53.92	2.65	ML
74A	31.91	79.34	82.52	0.0118	0.0025	-0.148	50.50	2.59	ML
74B	31.91	79.34	96.95	0.0103	0.0025	-0.148	50.50	2.59	ML
74C	31.91	79.34	141.11	0.0150	0.0025	-0.148	50.50	2.59	ML
75A	31.34	90.57	61.85	0.0099	0.0037	-0.145	54.75	2.56	ML
75B	31.34	90.57	58.09	0.0150	0.0037	-0.145	54.75	2.56	ML
75C	31.34	90.57	92.15	0.0144	0.0037	-0.145	54.75	2.56	ML
76A	21.72	49.89	31.05	0.0200	0.0063	-0.14	51.22	2.58	ML
76C	21.72	49.89	54.71	0.0192	0.0063	-0.14	51.22	2.58	ML
78B	22.60	43.70	47.99	0.0150	0.0033	-0.037	50.50	2.55	ML

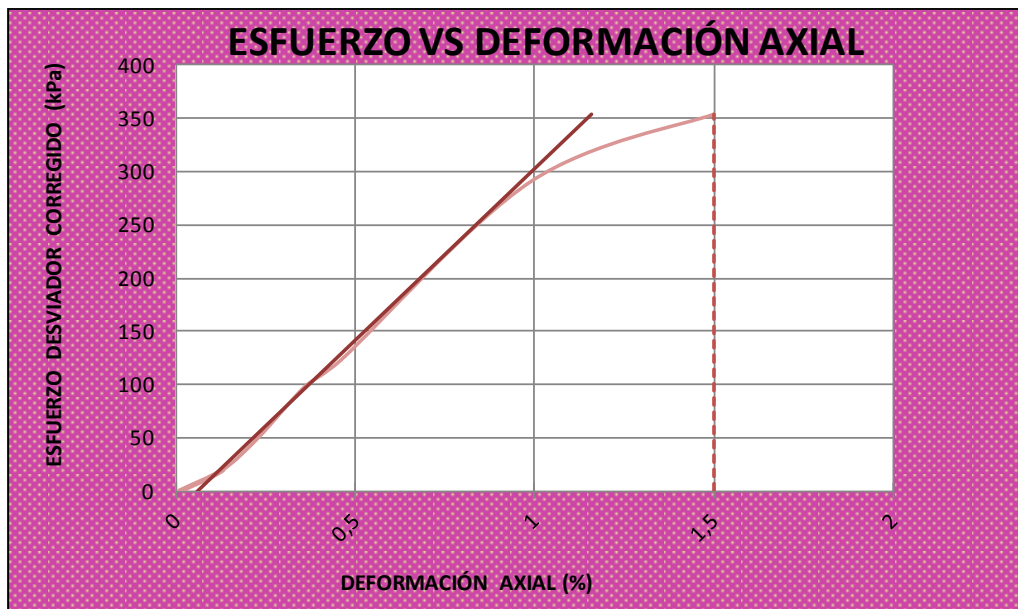
Elaborado por: Jorge Monereo Pérez. Ángulo de fricción [°]; cohesión [KPa]; Módulo elástico medio [MPa]; deformación unitaria [m/m]; pendiente elástica: regresión lineal de los módulos elásticos [Pa/Pa]; b_elástica: intercepto de la pendiente elástica [MPa]; porosidad [%]; GS: peso específico de los sólidos; clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Anexo 7. Informes de ensayos Triaxiales U.U. saturado				

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 0 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 298001 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	353,90	50,30	404,20	227,25	176,95

H _{PROMEDIO}	134,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,20 mm
A _{PROMEDIO}	3653,08 mm ²
V _{PROMEDIO}	4898,77 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	13,42 KN/m ³
P _{MUESTRA}	824,83 g
n Porosidad	47,37 %
GS	2,55
H%	25,20 %
A _{Grado Aireación}	28,30 %

E
[MPa]
32,23

ϵ
[m/m]
0,0150

S
[%]
71,70

e
Relación vacíos
0,90

ϕ
[°]
35,74

C
[KPa]
54,97

Elaboración Propia

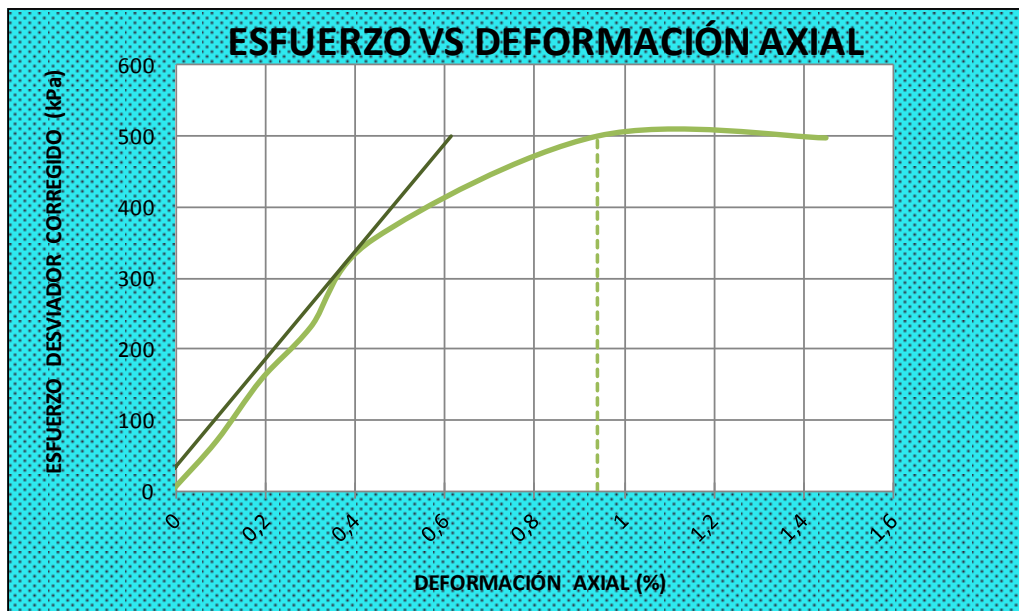
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 0 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 298001 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	500,00	100,50	600,50	350,50	250,00

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,20 mm
A _{PROMEDIO}	3653,08 mm ²
V _{PROMEDIO}	5227,55 mm ³
γ _{HÚMEDA}	15,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,62 KN/m ³
P _{MUESTRA}	824,83 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	25,20 %
A _{Grado Aireación}	37,20 %

E
[MPa]
75,84

ϵ
[m/m]
0,0094

S
[%]
62,80

e
Relación vacíos
1,02

ϕ
[°]
35,74

C
[KPa]
54,97

Elaboración Propia

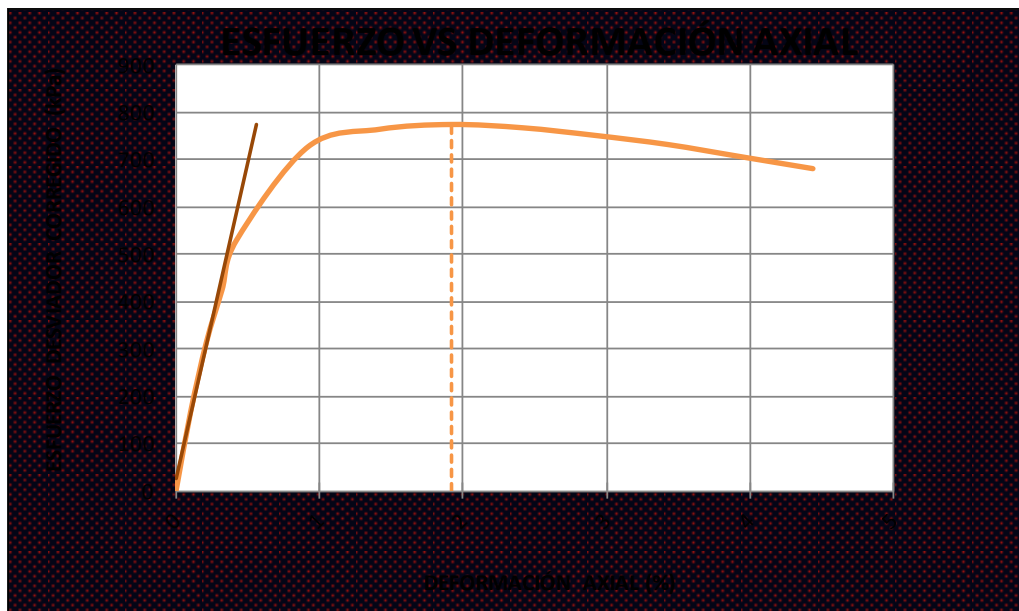
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 0 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 298001 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	774,60	199,70	974,30	587,00	387,30

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,20 mm
A _{PROMEDIO}	3653,08 mm ²
V _{PROMEDIO}	5227,55 mm ³
γ _{HÚMEDA}	15,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,62 KN/m ³
P _{MUESTRA}	824,83 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	25,20 %
A _{Grado Aireación}	37,20 %

E
[MPa]
133,75

ϵ
[m/m]
0,0192

S
[%]
62,80

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
35,74

C
[KPa]
54,97

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

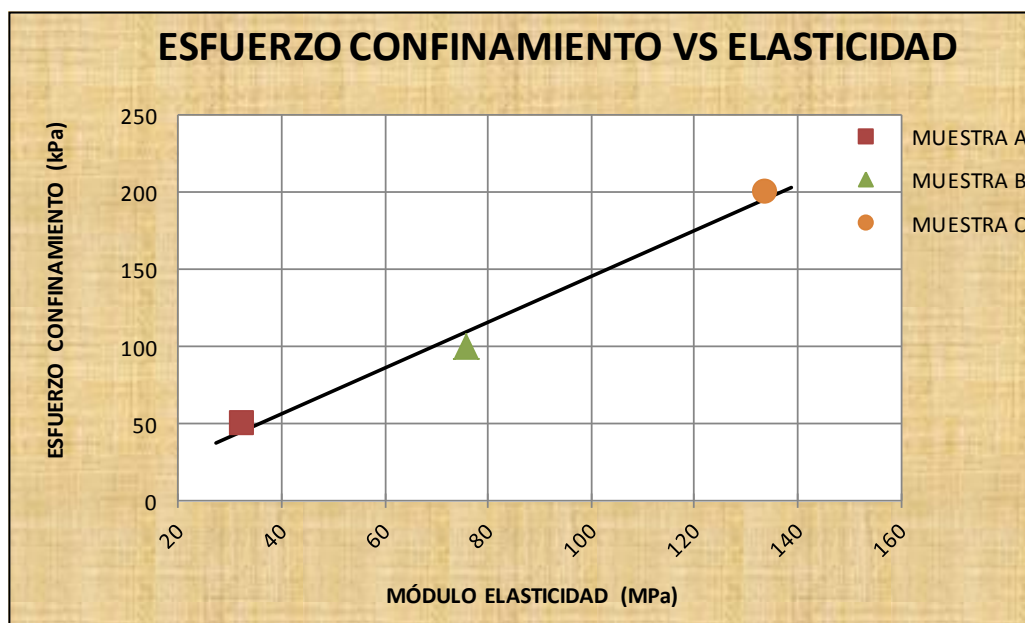
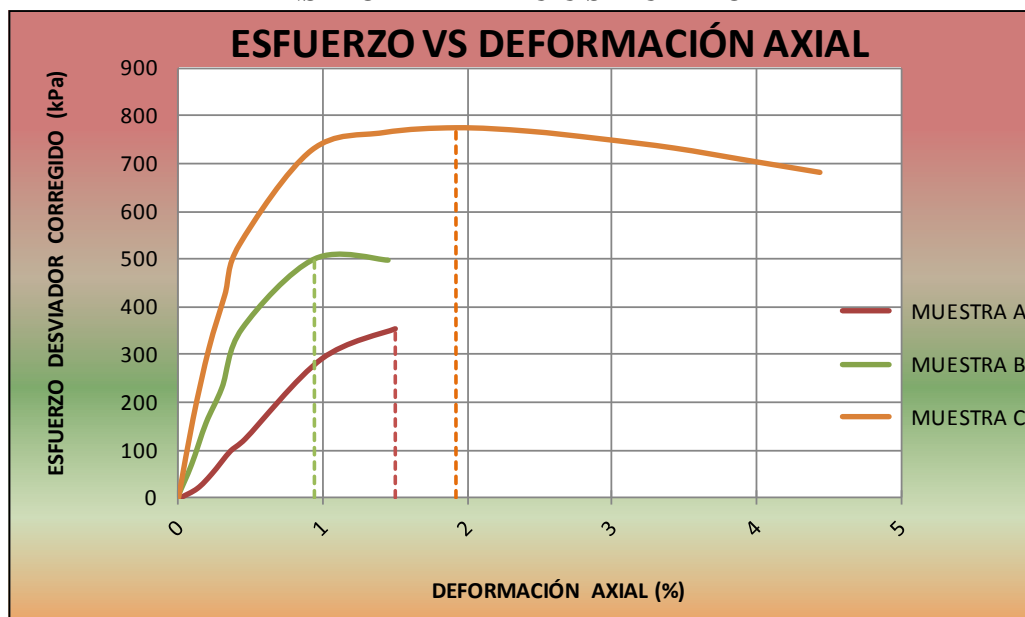
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 0 - 1

Denominación original Muestra#: 298001

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,484 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-2,82 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 0 - 1

Denominación original Muestra#: 298001

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	353,90	50,30	404,20	227,25	176,95
B	500,00	100,50	600,50	350,50	250,00
C	774,60	199,70	974,30	587,00	387,30

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

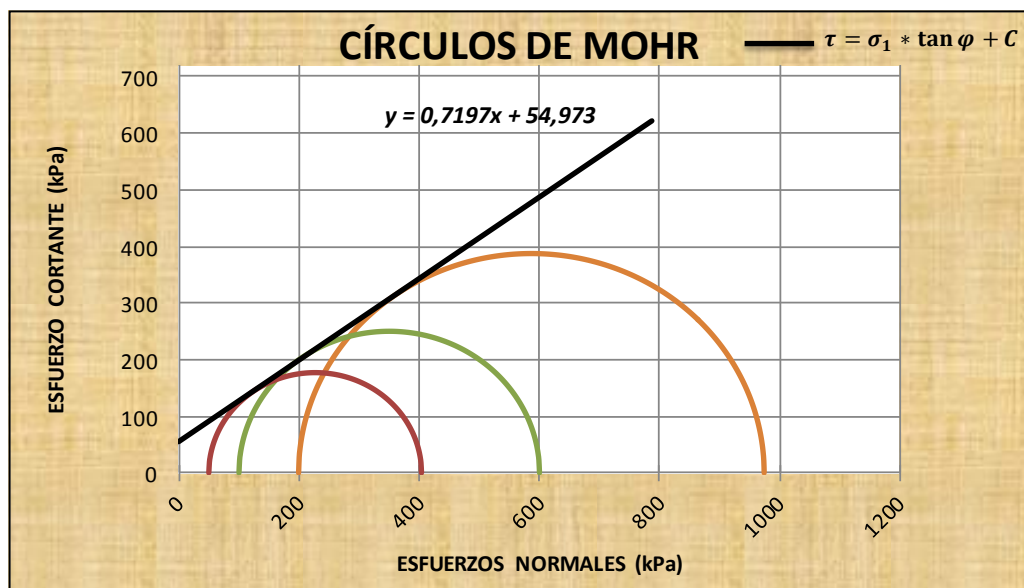
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 44,618

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5842

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 1,0000

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 54,973

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 35.74°



Elaboración Propia

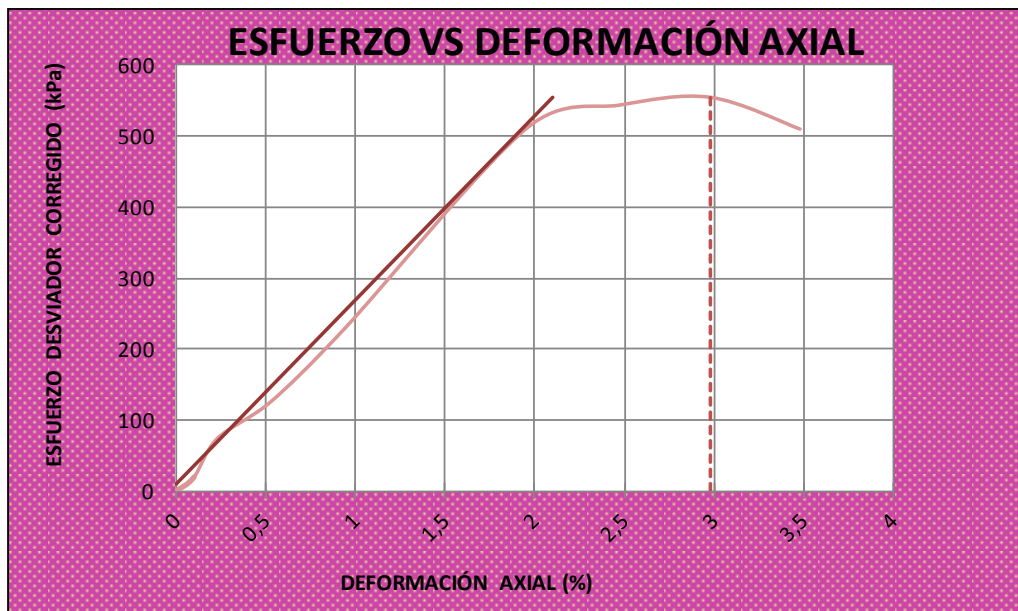
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 0 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 298002 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	554,70	50,40	605,10	327,75	277,35

H _{PROMEDIO}	142,40 mm
D _{PROMEDIO}	67,70 mm
A _{PROMEDIO}	3599,71 mm ²
V _{PROMEDIO}	5125,98 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	12,83 KN/m ³
P _{MUESTRA}	825,21 g
n Porosidad	50,74 %
GS	2,61
H%	25,50 %
A Grado Aireación	35,80 %

E
[MPa]
25,95

ϵ
[m/m]
0,0198

S
[%]
64,20

e
Relación vacíos
1,03

φ
[°]
35,97

C
[KPa]
107,54

Elaboración Propia

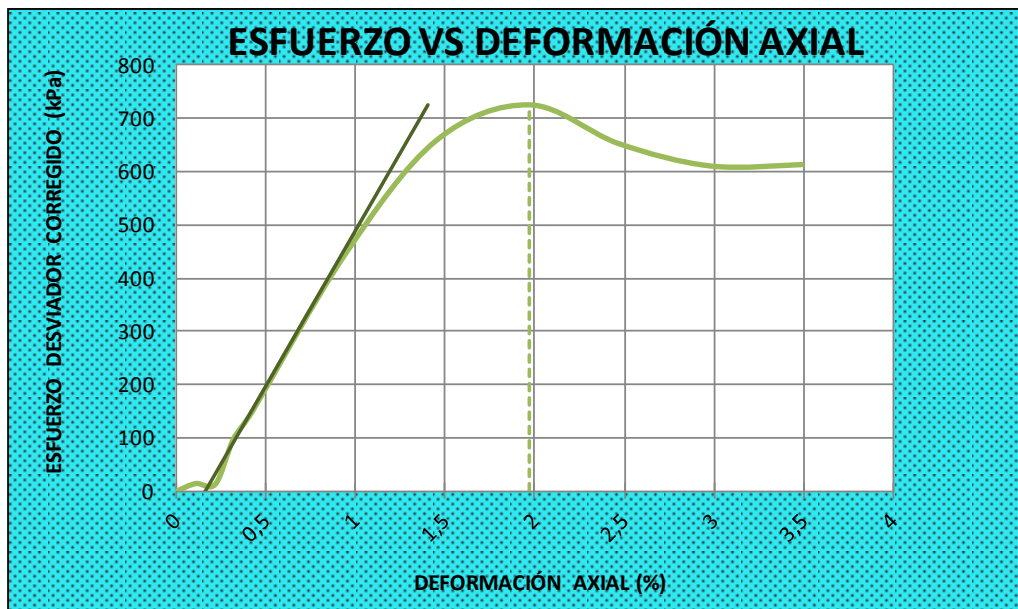
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 0 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 298002 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	725,40	100,70	826,10	463,40	362,70

H _{PROMEDIO}	142,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5262,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	15,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,35 KN/m ³
P _{MUESTRA}	818,25 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,61
H%	25,50 %
A _{Grado Aireación}	39,90 %

E
[MPa]
58,46

ϵ
[m/m]
0,0197

S
[%]
60,10

e
Relación vacíos
1,11

ϕ
[°]
35,97

C
[KPa]
107,54

Elaboración Propia

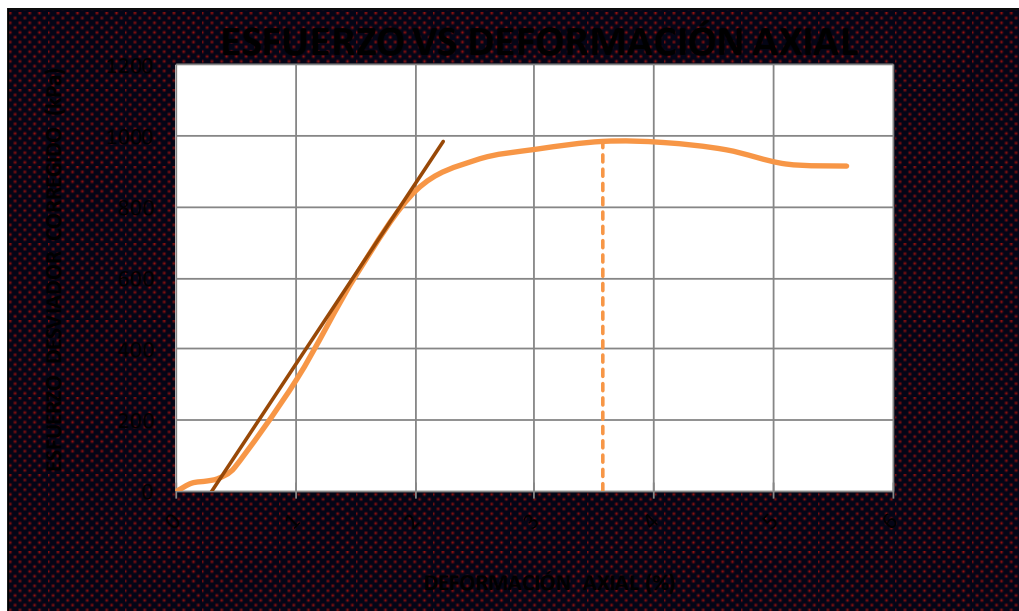
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 0 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 298002 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	985,20	200,10	1185,30	692,70	492,60

H _{PROMEDIO}	142,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,70 mm
A _{PROMEDIO}	3706,84 mm ²
V _{PROMEDIO}	5274,83 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	12,83 KN/m ³
P _{MUESTRA}	850,43 g
n Porosidad	50,74 %
GS	2,61
H%	25,50 %
A _{Grado Aireación}	35,60 %

E
[MPa]
50,92

ϵ
[m/m]
0,0357

S
[%]
64,40

e
Relación vacíos
1,03

ϕ
[°]
35,97

C
[KPa]
107,54

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

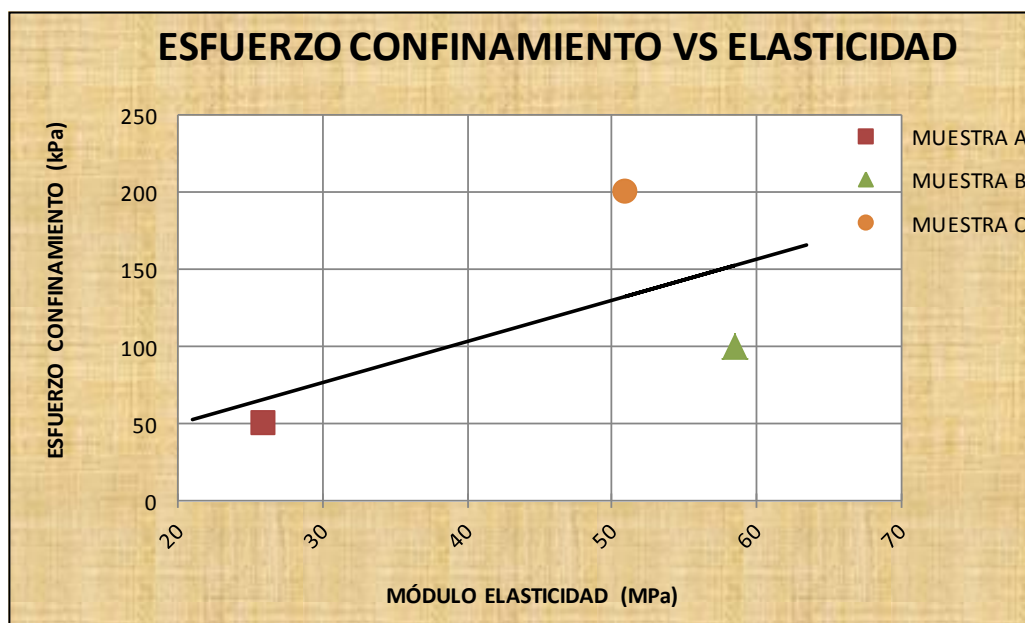
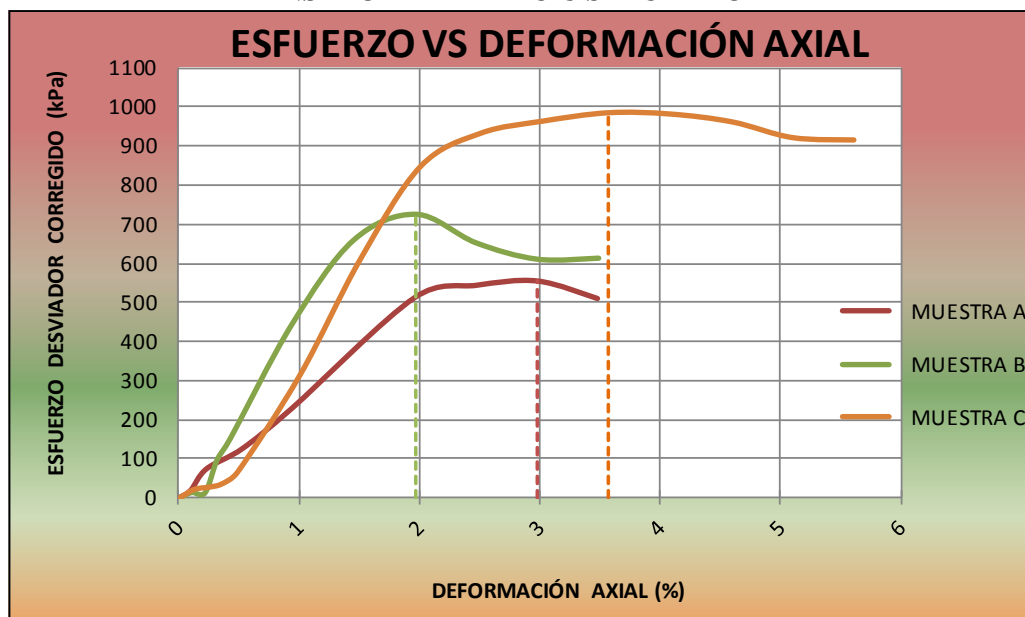
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 0 - 2

Denominación original Muestra#: 298002

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$2,661 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-3,00 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

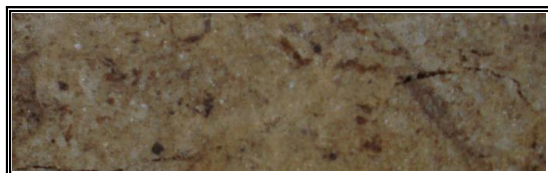
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 0 - 2

Denominación original Muestra#: 298002

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO ALGO ARCILLOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	554,70	50,40	605,10	327,75	277,35
B	725,40	100,70	826,10	463,40	362,70
C	985,20	200,10	1185,30	692,70	492,60

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

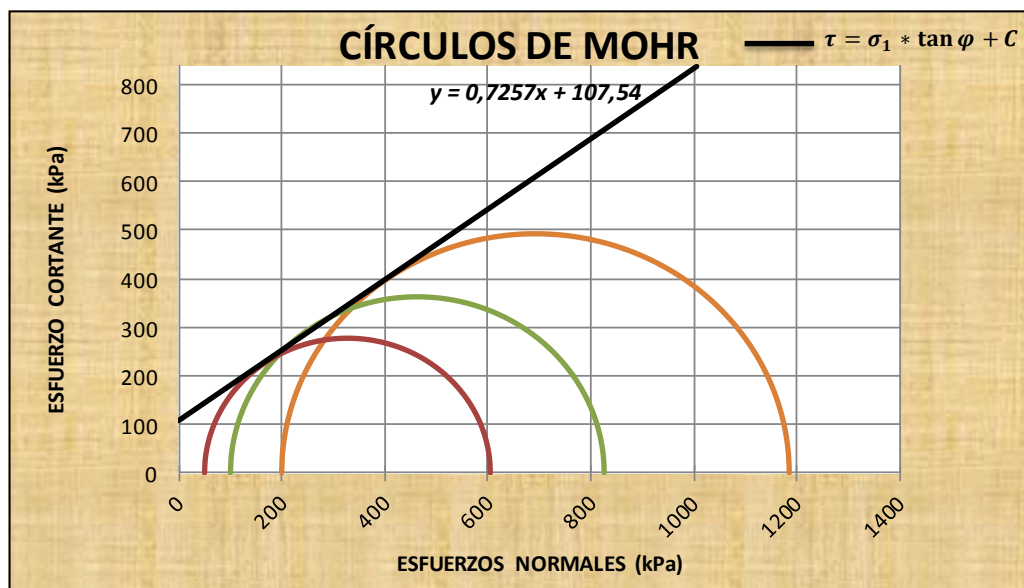
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 87,034

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5874

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9992

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 107,538

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 35,97°



Elaboración Propia

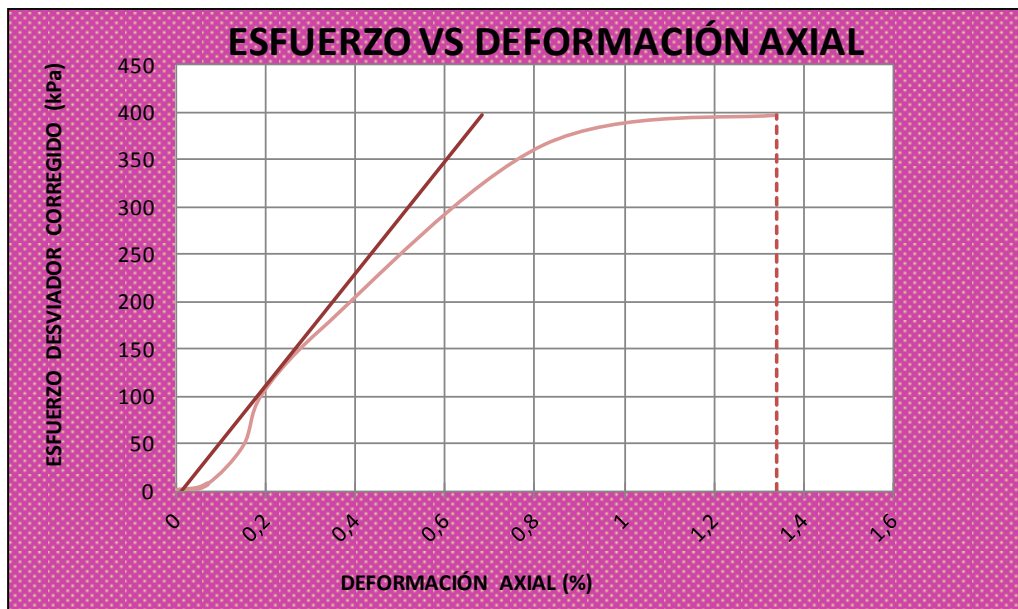
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 298711 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	397,40	50,10	447,50	248,80	198,70

H _{PROMEDIO}	143,40 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5269,28 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,07 KN/m ³
P _{MUESTRA}	886,94 g
n Porosidad	51,92 %
GS	2,51
H%	39,20 %
A _{Grado Aireación}	8,60 %

E
[MPa]
59,29

ε
[m/m]
0,0134

S
[%]
91,40

e
Relación vacíos
1,08

φ
[°]
28,60

C
[KPa]
91,84

Elaboración Propia

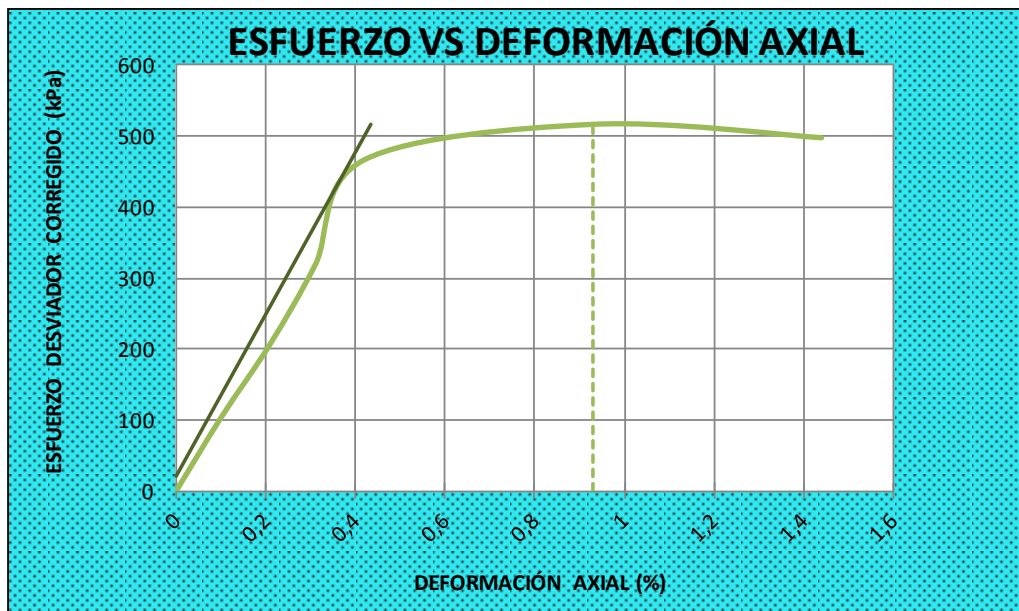
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 298711 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	497,70	99,30	597,00	348,15	248,85

H _{PROMEDIO}	143,40 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5269,28 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,07 KN/m ³
P _{MUESTRA}	886,94 g
n Porosidad	51,92 %
GS	2,51
H%	39,20 %
A _{Grado Aireación}	8,60 %

E
[MPa]
114,17

ϵ
[m/m]
0,0144

S
[%]
91,40

e
Relación vacíos
1,08

φ
[°]
28,60

C
[KPa]
91,84

Elaboración Propia

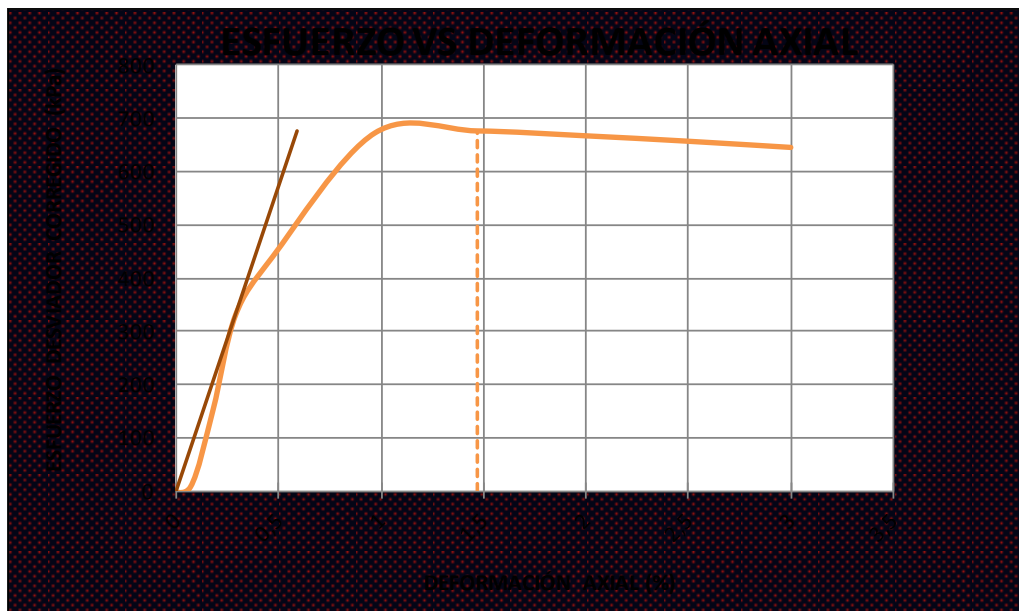
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 298711 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	676,40	201,00	877,40	539,20	338,20

H _{PROMEDIO}	143,40 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5269,28 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,07 KN/m ³
P _{MUESTRA}	886,94 g
n Porosidad	51,92 %
GS	2,51
H%	39,20 %
A _{Grado Aireación}	8,60 %

E
[MPa]
114,61

ϵ
[m/m]
0,0147

S
[%]
91,40

e
Relación vacíos
1,08

φ
[°]
28,60

C
[KPa]
91,84

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

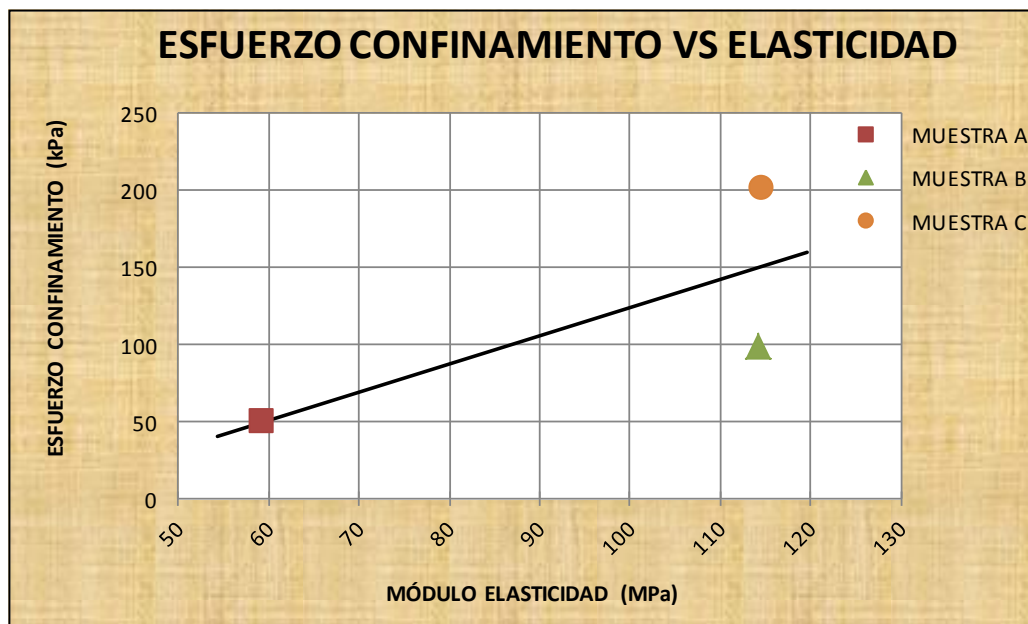
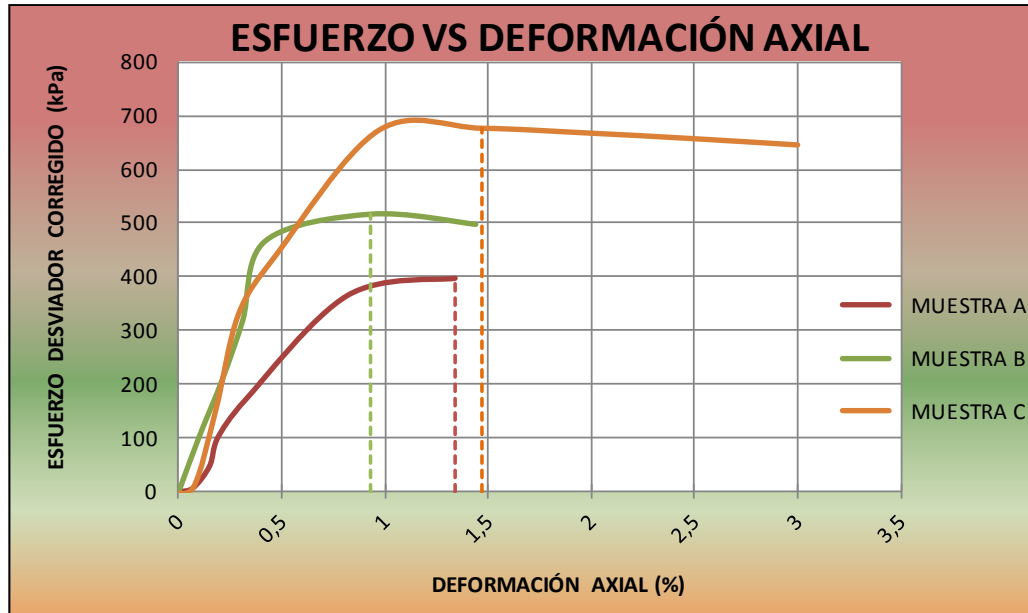
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 1

Denominación original Muestra#: 298711

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,827 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-58,61 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

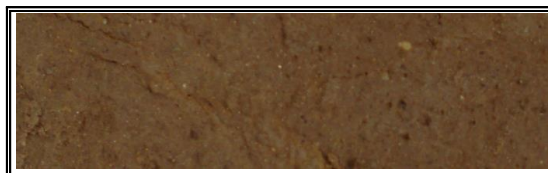
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 1

Denominación original Muestra#: 298711

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	397,40	50,10	447,50	248,80	198,70
B	497,70	99,30	597,00	348,15	248,85
C	676,40	201,00	877,40	539,20	338,20

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

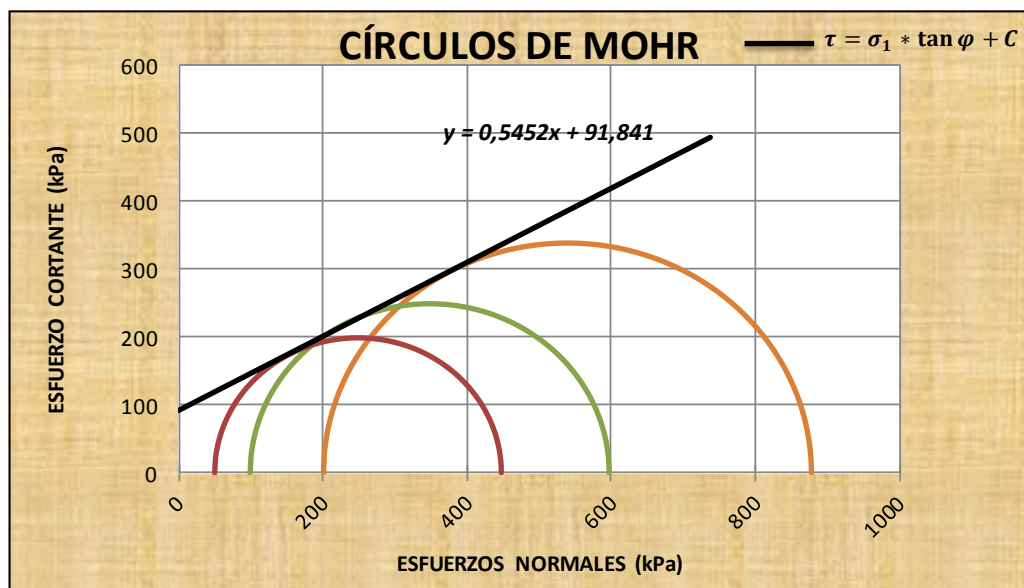
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 80,636

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4787

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9996

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 91,841

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 28.6°



Elaboración Propia

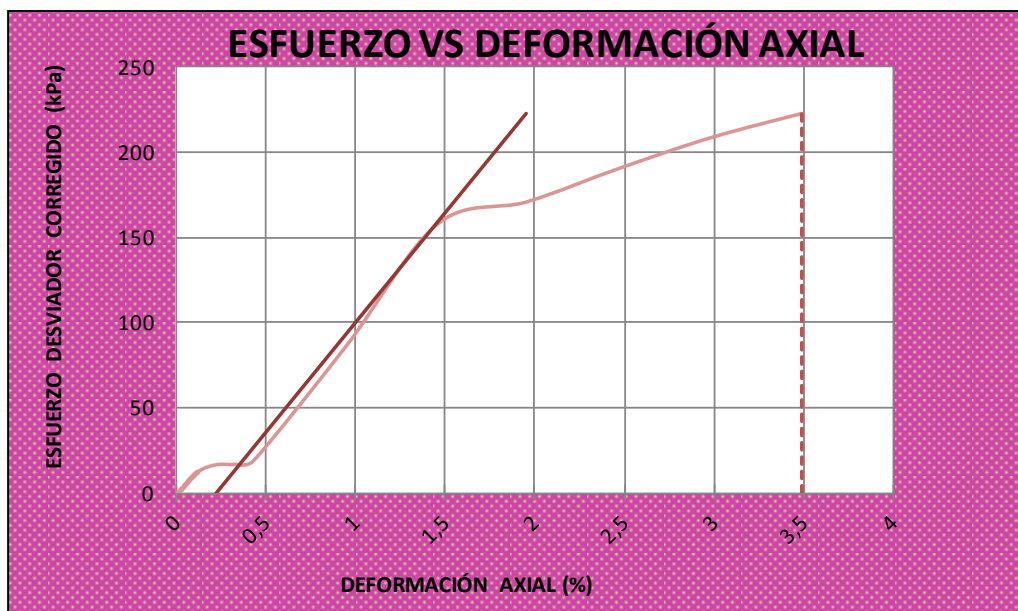
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 298712 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	222,70	50,40	273,10	161,75	111,35

H _{PROMEDIO}	136,10 mm
D _{PROMEDIO}	67,80 mm
A _{PROMEDIO}	3610,35 mm ²
V _{PROMEDIO}	4913,69 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,20 KN/m ³
γ _{SECA}	11,64 KN/m ³
P _{MUESTRA}	798,45 g
n Porosidad	55,36 %
GS	2,61
H%	39,20 %
A Grado Aireación	17,20 %

E
[MPa]
12,90

ϵ
[m/m]
0,0349

S
[%]
82,80

e
Relación vacíos
1,24

φ
[°]
35,71

C
[KPa]
21,23

Elaboración Propia

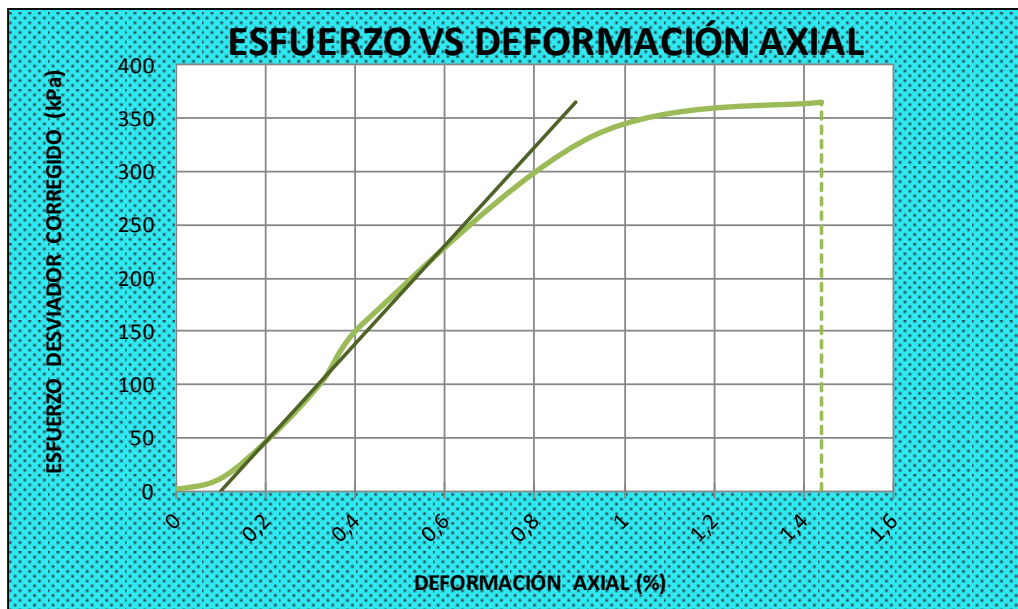
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 298712 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	365,30	100,00	465,30	282,65	182,65

H _{PROMEDIO}	136,10 mm
D _{PROMEDIO}	67,80 mm
A _{PROMEDIO}	3610,35 mm ²
V _{PROMEDIO}	4913,69 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,20 KN/m ³
γ _{SECA}	11,64 KN/m ³
P _{MUESTRA}	798,45 g
n Porosidad	55,36 %
GS	2,61
H%	39,20 %
A _{Grado Aireación}	17,20 %

E
[MPa]
46,15

ϵ
[m/m]
0,0144

S
[%]
82,80

e
Relación vacíos
1,24

φ
[°]
35,71

C
[KPa]
21,23

Elaboración Propia

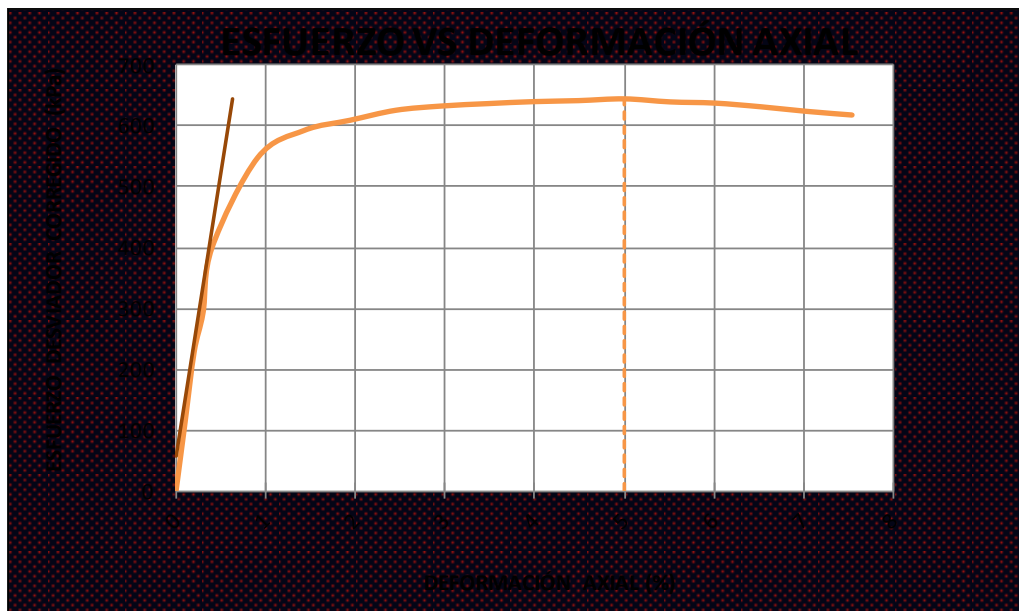
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 298712 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	641,70	199,60	841,30	520,45	320,85

H _{PROMEDIO}	136,10 mm
D _{PROMEDIO}	67,70 mm
A _{PROMEDIO}	3599,71 mm ²
V _{PROMEDIO}	4899,20 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,30 KN/m ³
γ _{SECA}	11,71 KN/m ³
P _{MUESTRA}	798,45 g
n Porosidad	53,27 %
GS	2,51
H%	39,20 %
A _{Grado Aireación}	14,00 %

E
[MPa]
93,39

ϵ
[m/m]
0,0449

S
[%]
86,00

e
Relación vacíos
1,14

φ
[°]
35,71

C
[KPa]
21,23

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

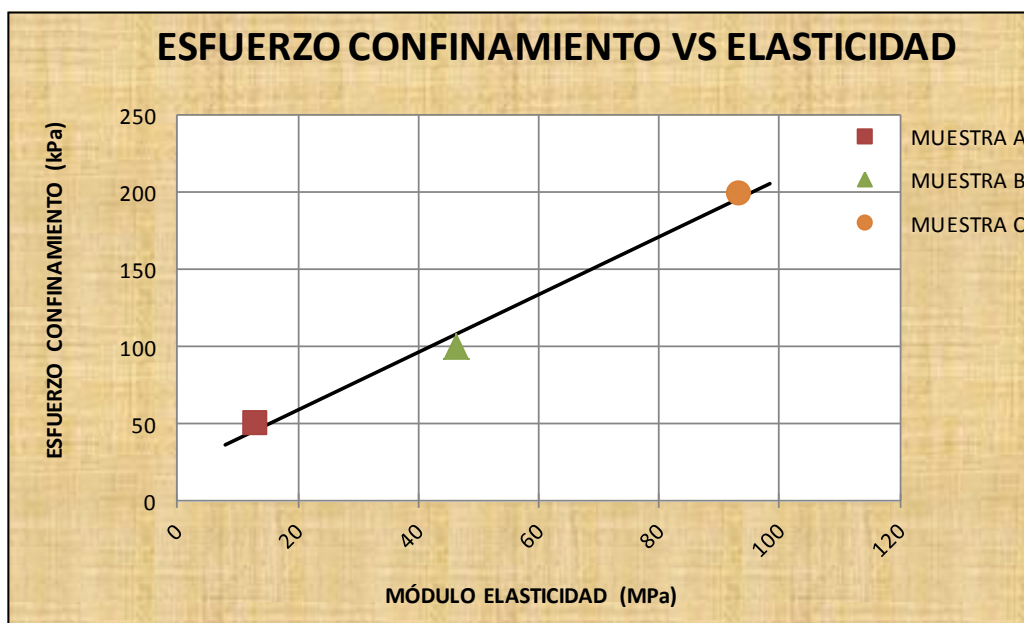
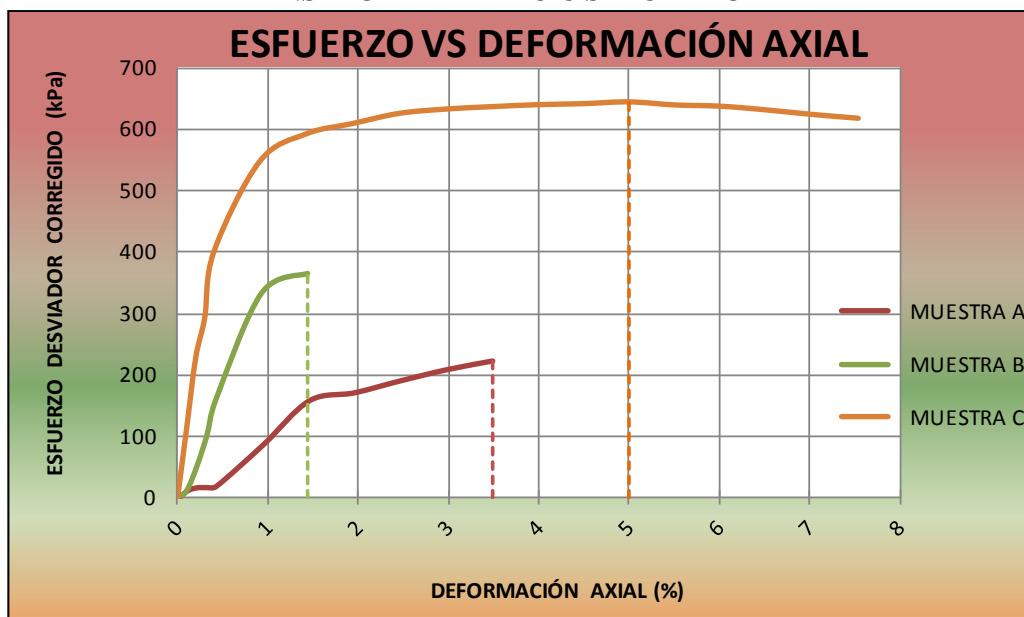
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 2

Denominación original Muestra#: 298712

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,871 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$21,61 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 2

Denominación original Muestra#: 298712

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	222,70	50,40	273,10	161,75	111,35
B	365,30	100,00	465,30	282,65	182,65
C	641,70	199,60	841,30	520,45	320,85

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

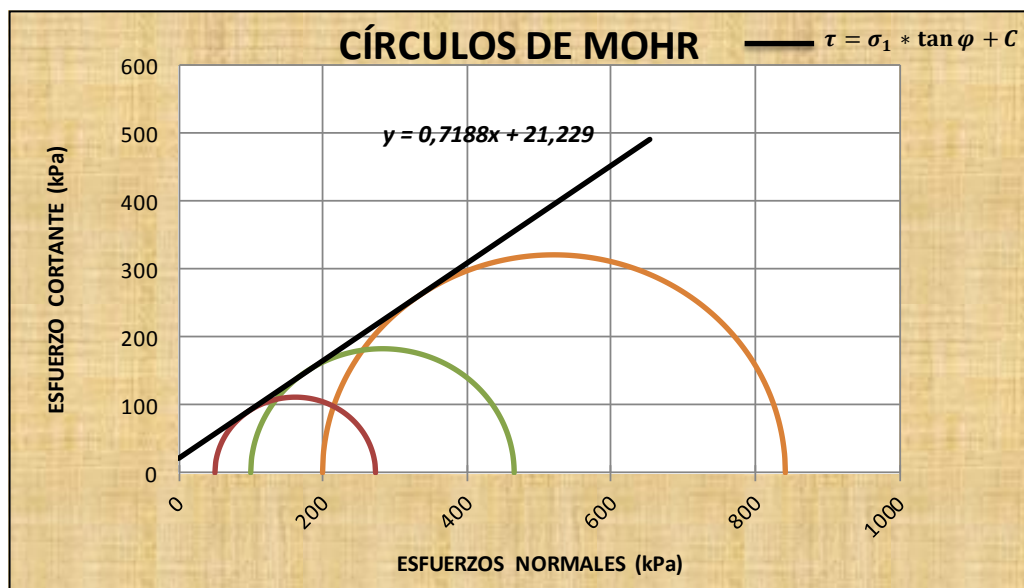
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 17,238

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5837

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 1,0000

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 21,229

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 35.71°



Elaboración Propia

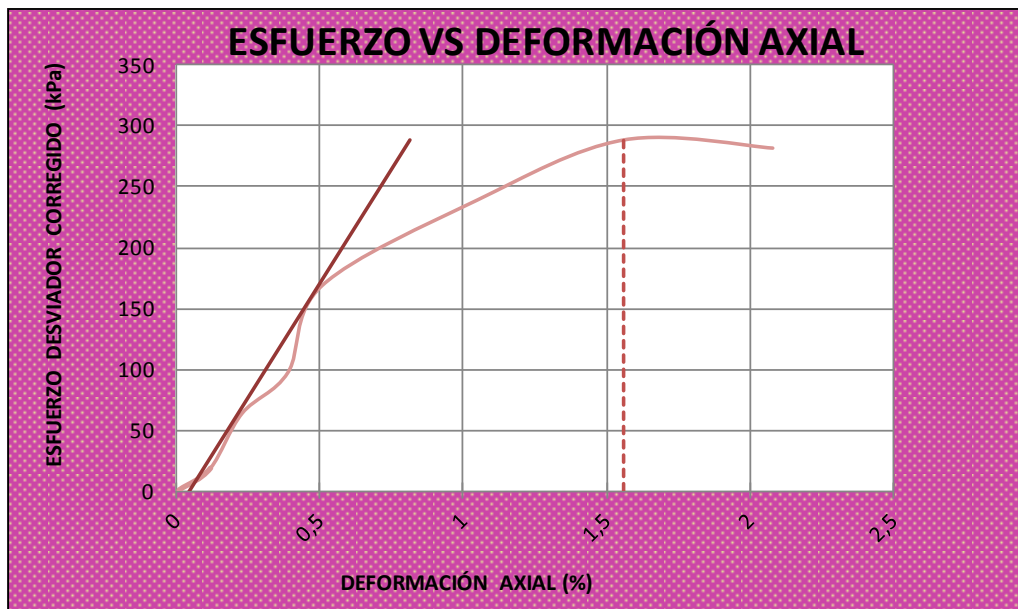
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 3 - A

Denominación original Muestra#: 298713 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	288,50	50,00	338,50	194,25	144,25

H _{PROMEDIO}	141,12 mm
D _{PROMEDIO}	67,43 mm
A _{PROMEDIO}	3571,05 mm ²
V _{PROMEDIO}	5039,47 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,45 KN/m ³
P _{MUESTRA}	904,54 g
n Porosidad	46,52 %
GS	2,52
H%	33,10 %
A Grado Aireación	4,00 %

E
[MPa]
37,54

ϵ
[m/m]
0,0156

S
[%]
96,00

e
Relación vacíos
0,87

ϕ
[°]
22,68

C
[KPa]
75,90

Elaboración Propia

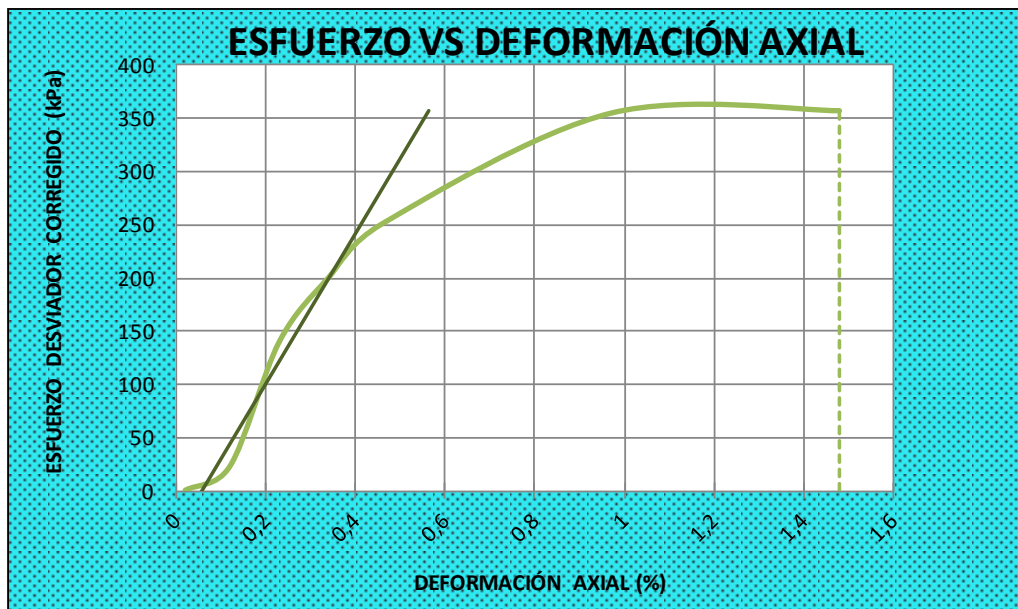
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 3 - B

Denominación original Muestra#: 298713 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	357,20	100,30	457,50	278,90	178,60

H _{PROMEDIO}	141,12 mm
D _{PROMEDIO}	67,43 mm
A _{PROMEDIO}	3571,05 mm ²
V _{PROMEDIO}	5039,47 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,45 KN/m ³
P _{MUESTRA}	904,54 g
n Porosidad	46,52 %
GS	2,52
H%	33,10 %
A _{Grado Aireación}	4,00 %

E
[MPa]
70,57

ϵ
[m/m]
0,0148

S
[%]
96,00

e
Relación vacíos
0,87

ϕ
[°]
22,68

C
[KPa]
75,90

Elaboración Propia

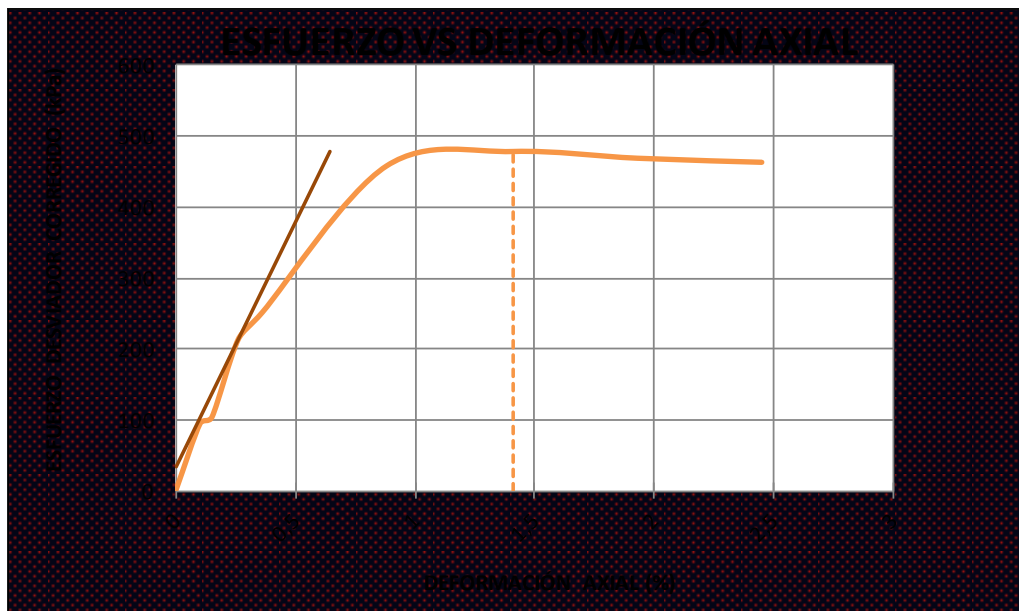
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 3 - C

Denominación original Muestra#: 298713 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	478,30	200,40	678,70	439,55	239,15

H _{PROMEDIO}	141,12 mm
D _{PROMEDIO}	67,43 mm
A _{PROMEDIO}	3571,05 mm ²
V _{PROMEDIO}	5039,47 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,45 KN/m ³
P _{MUESTRA}	904,54 g
n Porosidad	46,52 %
GS	2,52
H%	33,10 %
A _{Grado Aireación}	4,00 %

E
[MPa]
69,07

ϵ
[m/m]
0,0136

S
[%]
96,00

e
Relación vacíos
0,87

φ
[°]
22,68

C
[KPa]
75,90

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

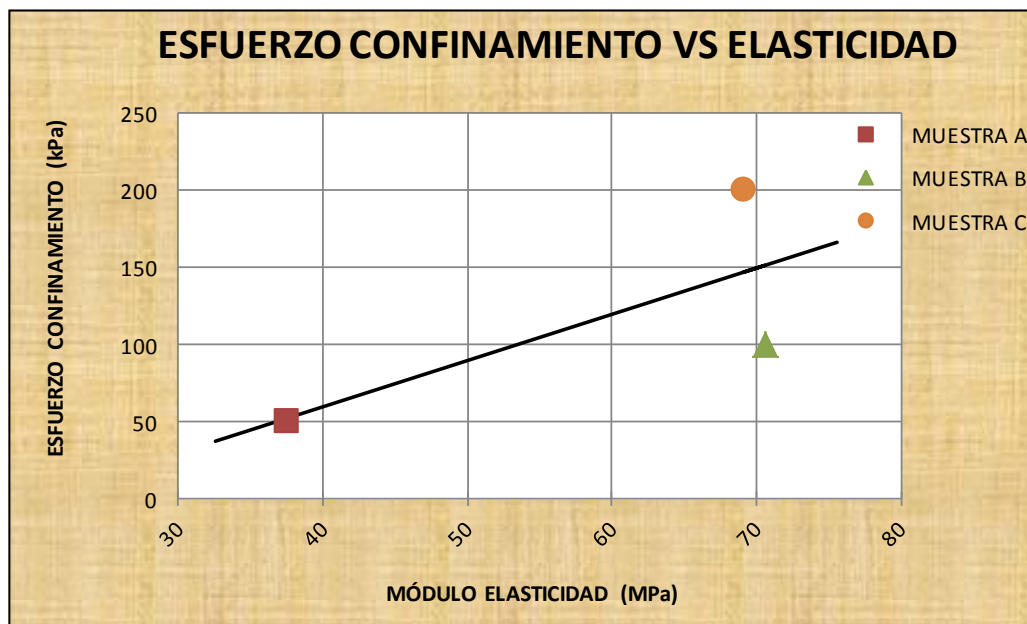
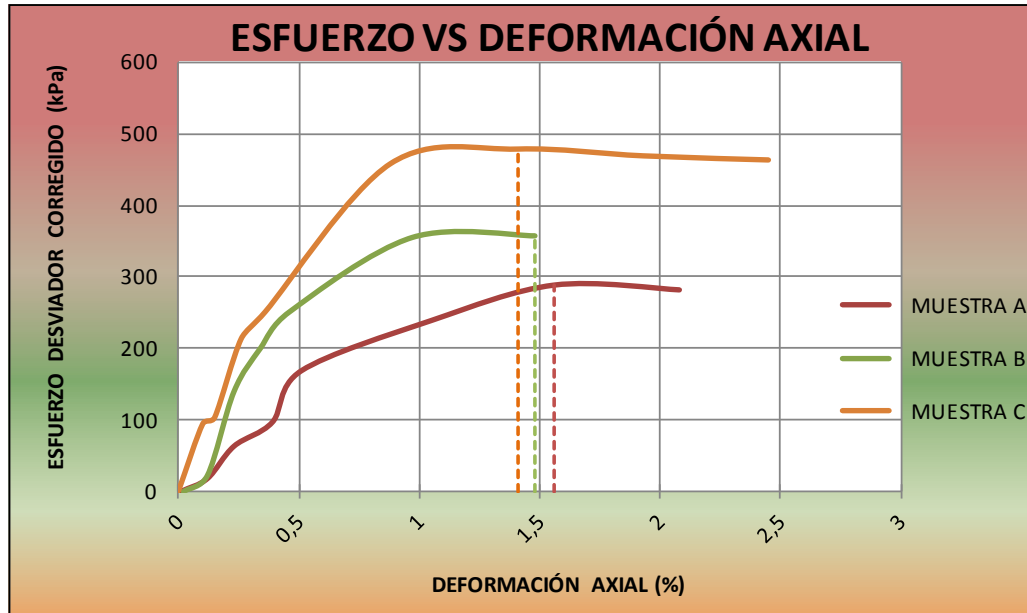
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 3

Denominación original Muestra#: 298713

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$2,995 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-60,01 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 3

Denominación original Muestra#: 298713

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	288,50	50,00	338,50	194,25	144,25
B	357,20	100,30	457,50	278,90	178,60
C	478,30	200,40	678,70	439,55	239,15

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

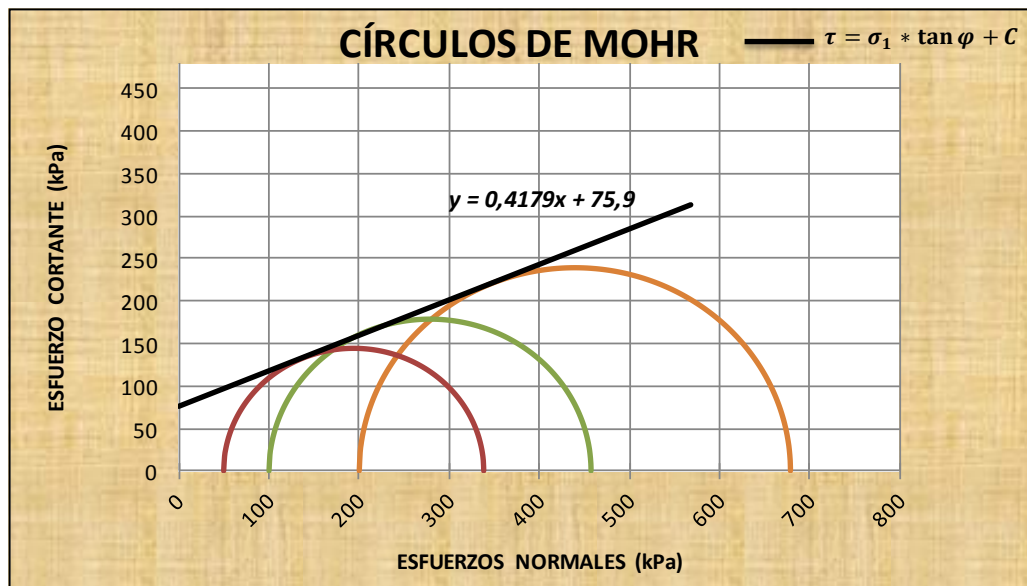
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 70,031

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3856

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9996

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 75,900

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 22,68°



Elaboración Propia

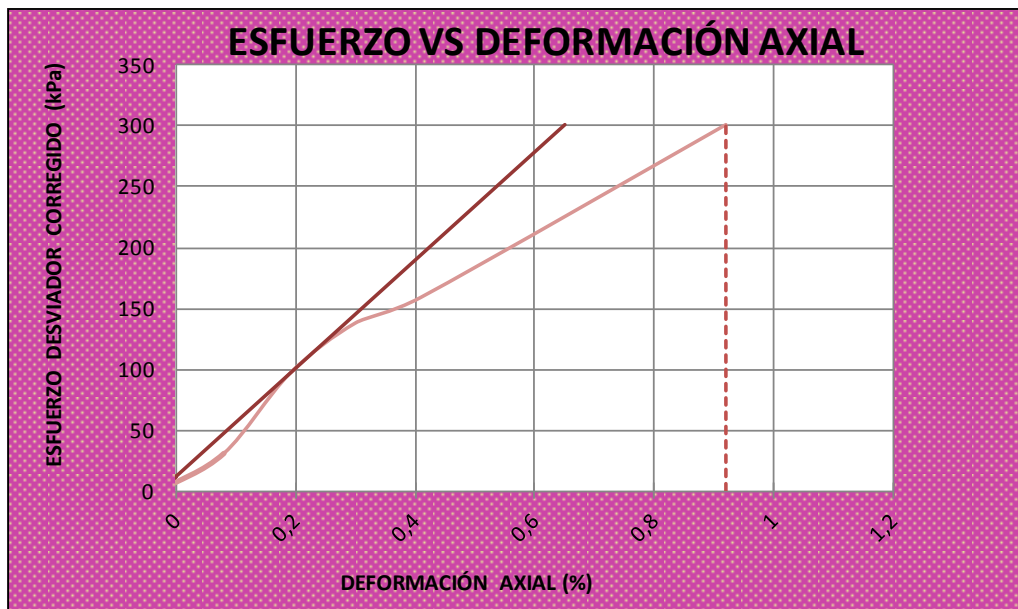
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 4 - A

Denominación original Muestra#: 300014 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	301,10	51,20	352,30	201,75	150,55

H _{PROMEDIO}	141,40 mm
D _{PROMEDIO}	67,90 mm
A _{PROMEDIO}	3621,01 mm ²
V _{PROMEDIO}	5120,10 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,13 KN/m ³
P _{MUESTRA}	858,12 g
n Porosidad	53,27 %
GS	2,59
H%	38,50 %
A _{Grado Aireación}	12,60 %

E
[MPa]
44,46

ε
[m/m]
0,0092

S
[%]
87,40

e
Relación vacíos
1,14

φ
[°]
37,87

C
[KPa]
36,88

Elaboración Propia

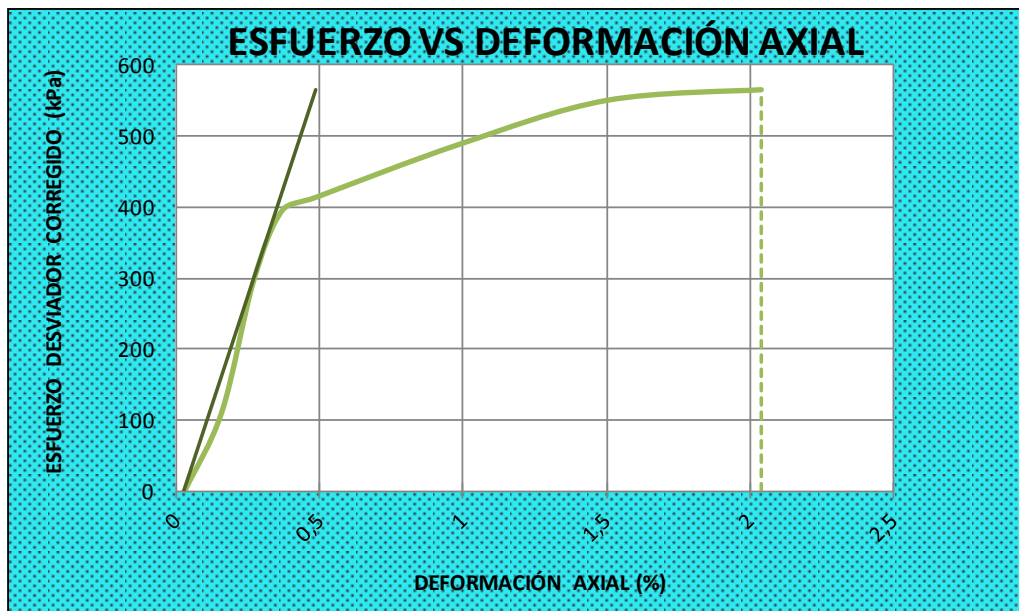
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 4 - B

Denominación original Muestra#: 300014 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	488,70	100,00	588,70	344,35	244,35

H _{PROMEDIO}	141,40 mm
D _{PROMEDIO}	67,90 mm
A _{PROMEDIO}	3621,01 mm ²
V _{PROMEDIO}	5120,10 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,13 KN/m ³
P _{MUESTRA}	858,12 g
n Porosidad	53,27 %
GS	2,59
H%	38,50 %
A _{Grado Aireación}	12,60 %

E
[MPa]
122,92

ϵ
[m/m]
0,0099

S
[%]
87,40

e
Relación vacíos
1,14

ϕ
[°]
37,87

C
[KPa]
36,88

Elaboración Propia

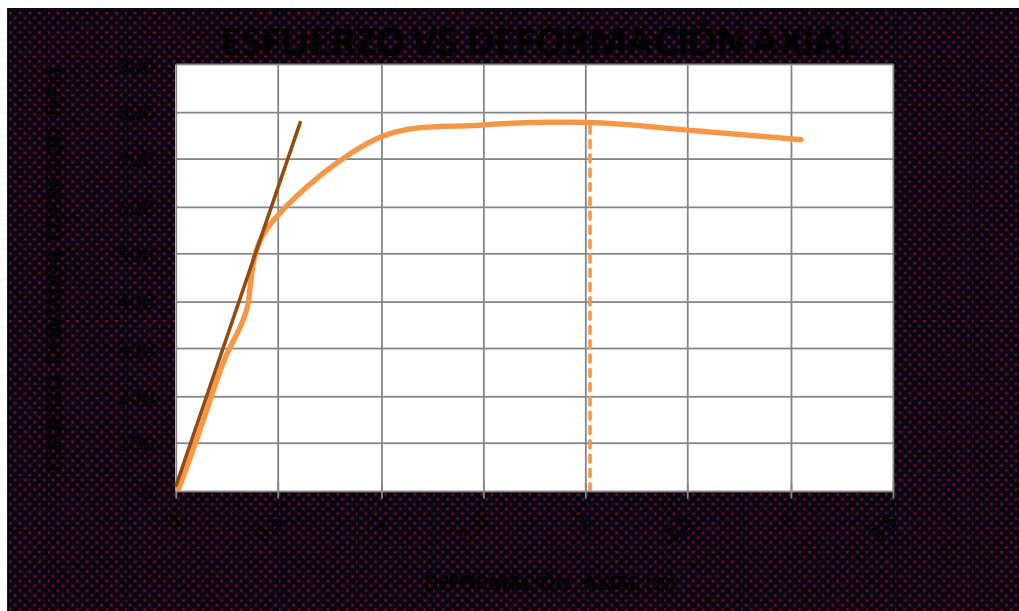
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 4 - C

Denominación original Muestra#: 300014 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	778,60	199,70	978,30	589,00	389,30

H _{PROMEDIO}	141,40 mm
D _{PROMEDIO}	67,90 mm
A _{PROMEDIO}	3621,01 mm ²
V _{PROMEDIO}	5120,10 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,13 KN/m ³
P _{MUESTRA}	858,12 g
n Porosidad	53,27 %
GS	2,59
H%	38,50 %
A _{Grado Aireación}	12,60 %

E
[MPa]
126,72

ϵ
[m/m]
0,0202

S
[%]
87,40

e
Relación vacíos
1,14

ϕ
[°]
37,87

C
[KPa]
36,88

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

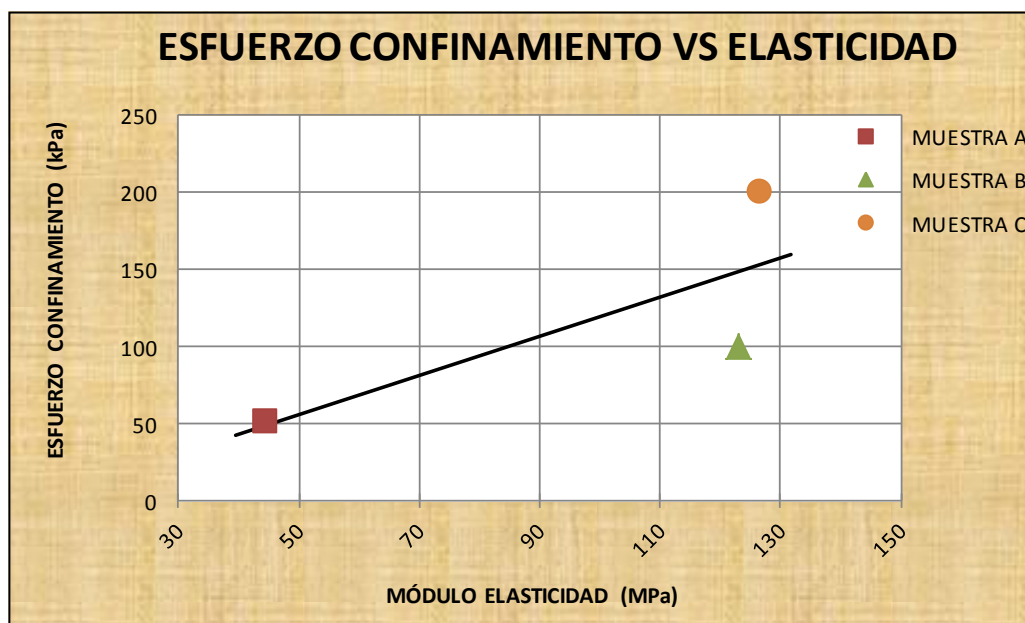
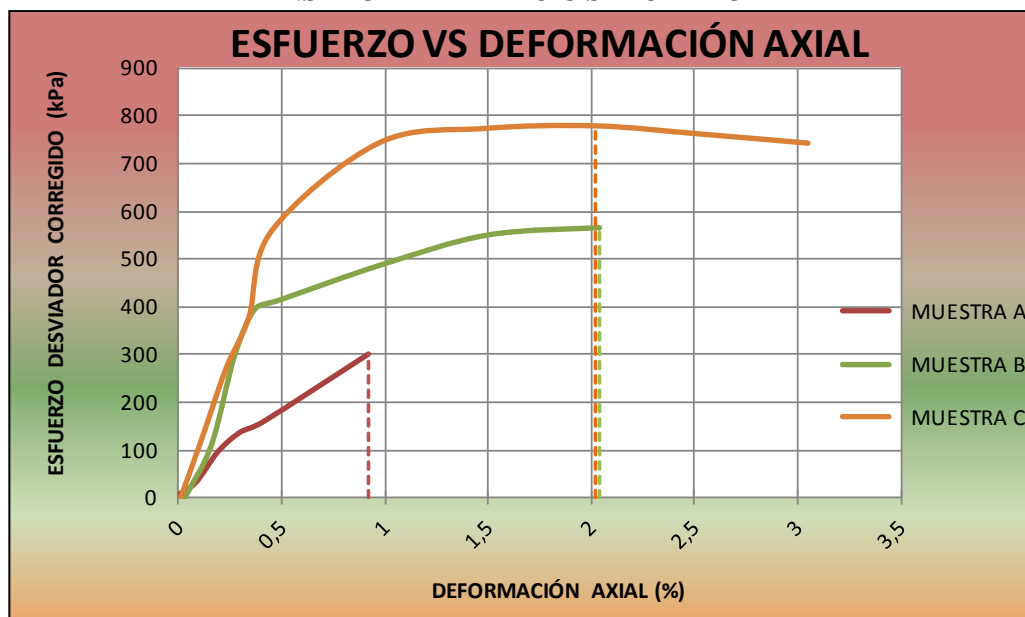
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 4

Denominación original Muestra#: 300014

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,269 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-7,48 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 4

Denominación original Muestra#: 300014

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ Y GRAVILLA COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	301,10	51,20	352,30	201,75	150,55
B	488,70	100,00	588,70	344,35	244,35
C	778,60	199,70	978,30	589,00	389,30

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

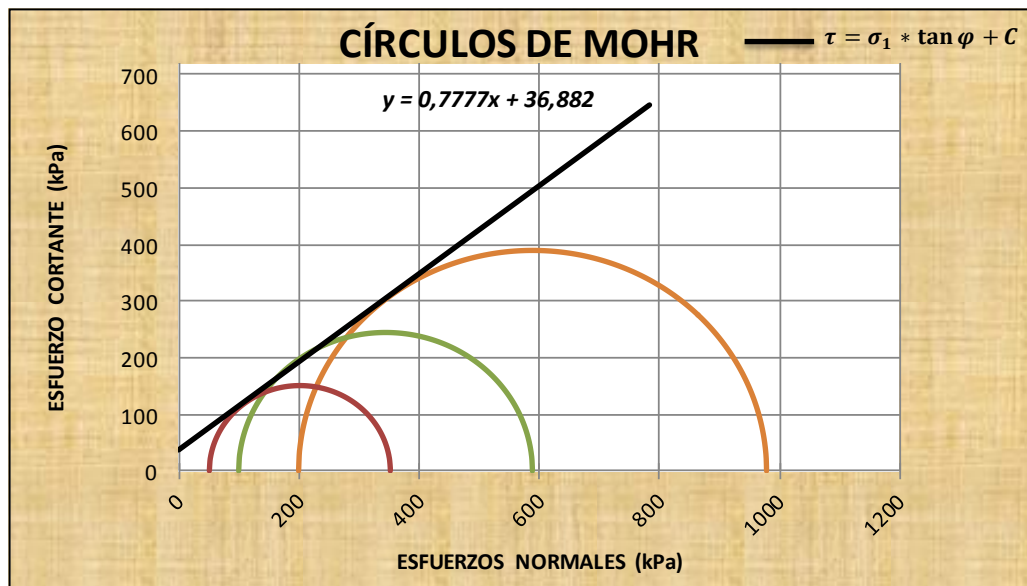
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 29,114

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,6139

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9992

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 36,882

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 37.87°



Elaboración Propia

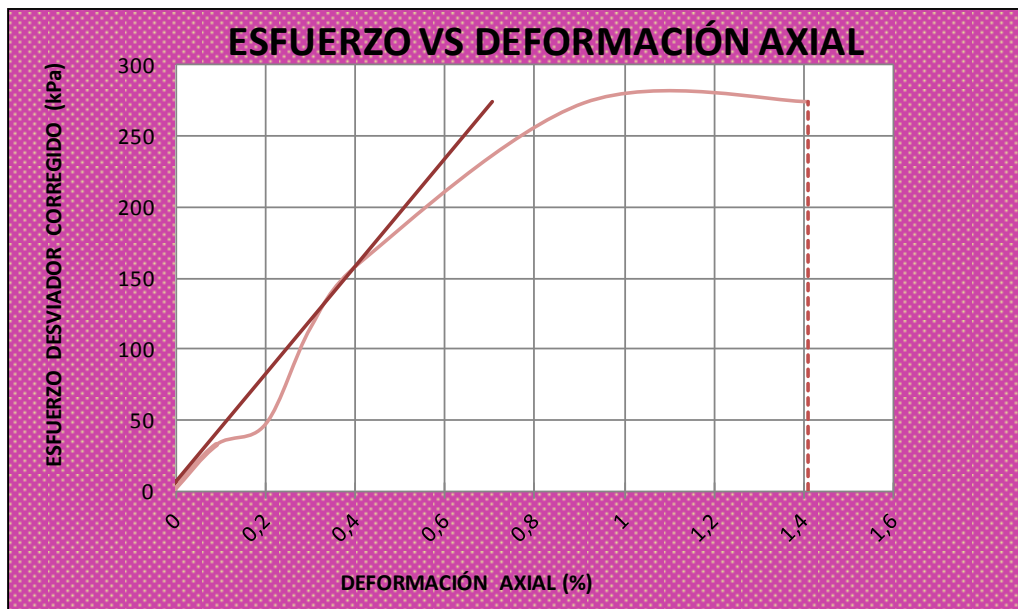
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 5 - A

Denominación original Muestra#: 300015 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	274,40	50,00	324,40	187,20	137,20

H _{PROMEDIO}	143,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,67 mm
A _{PROMEDIO}	3703,60 mm ²
V _{PROMEDIO}	5325,78 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,50 KN/m ³
γ _{SECA}	11,44 KN/m ³
P _{MUESTRA}	880,13 g
n Porosidad	54,75 %
GS	2,53
H%	44,20 %
A Grado Aireación	7,40 %

E
[MPa]
37,92

ϵ
[m/m]
0,0141

S
[%]
92,60

e
Relación vacíos
1,21

ϕ
[°]
34,64

C
[KPa]
40,33

Elaboración Propia

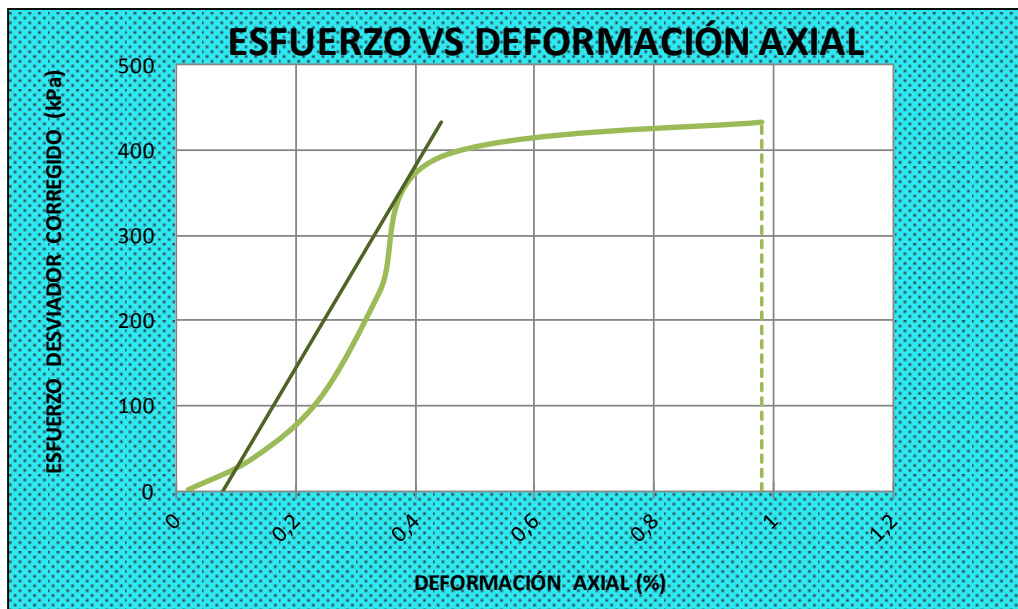
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 5 - B

Denominación original Muestra#: 300015 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	433,20	99,40	532,60	316,00	216,60

H _{PROMEDIO}	143,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,67 mm
A _{PROMEDIO}	3703,60 mm ²
V _{PROMEDIO}	5325,78 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,50 KN/m ³
γ _{SECA}	11,44 KN/m ³
P _{MUESTRA}	880,13 g
n Porosidad	54,75 %
GS	2,53
H%	44,20 %
A _{Grado Aireación}	7,40 %

E
[MPa]
118,58

ϵ
[m/m]
0,0098

S
[%]
92,60

e
Relación vacíos
1,21

ϕ
[°]
34,64

C
[KPa]
40,33

Elaboración Propia

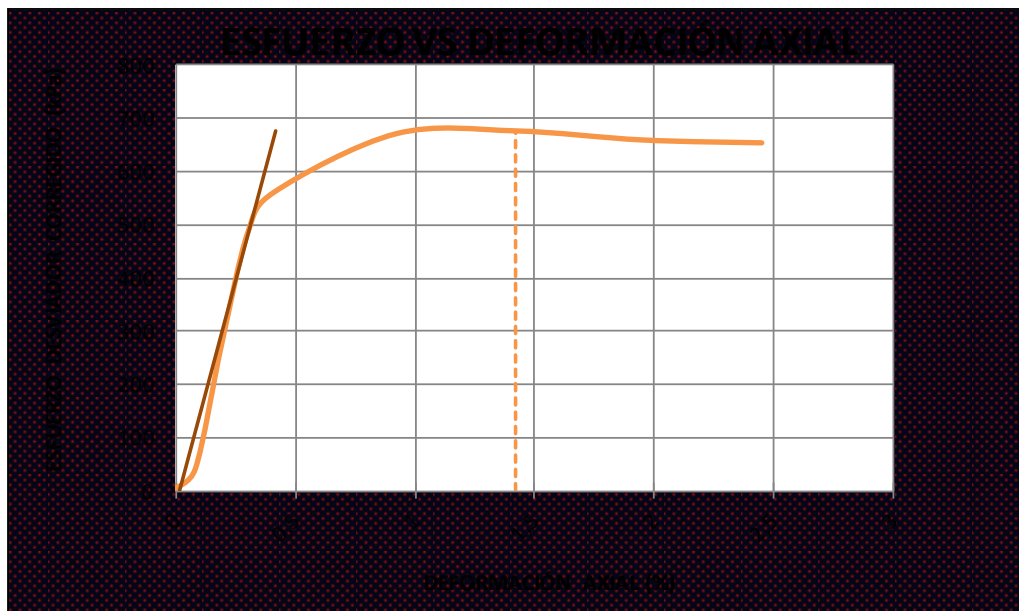
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 5 - C

Denominación original Muestra#: 300015 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	676,40	200,80	877,20	539,00	338,20

H _{PROMEDIO}	143,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,67 mm
A _{PROMEDIO}	3703,60 mm ²
V _{PROMEDIO}	5325,78 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,50 KN/m ³
γ _{SECA}	11,44 KN/m ³
P _{MUESTRA}	880,13 g
n Porosidad	54,75 %
GS	2,53
H%	44,20 %
A _{Grado Aireación}	7,40 %

E
[MPa]
168,17

ϵ
[m/m]
0,0142

S
[%]
92,60

e
Relación vacíos
1,21

φ
[°]
34,64

C
[KPa]
40,33

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

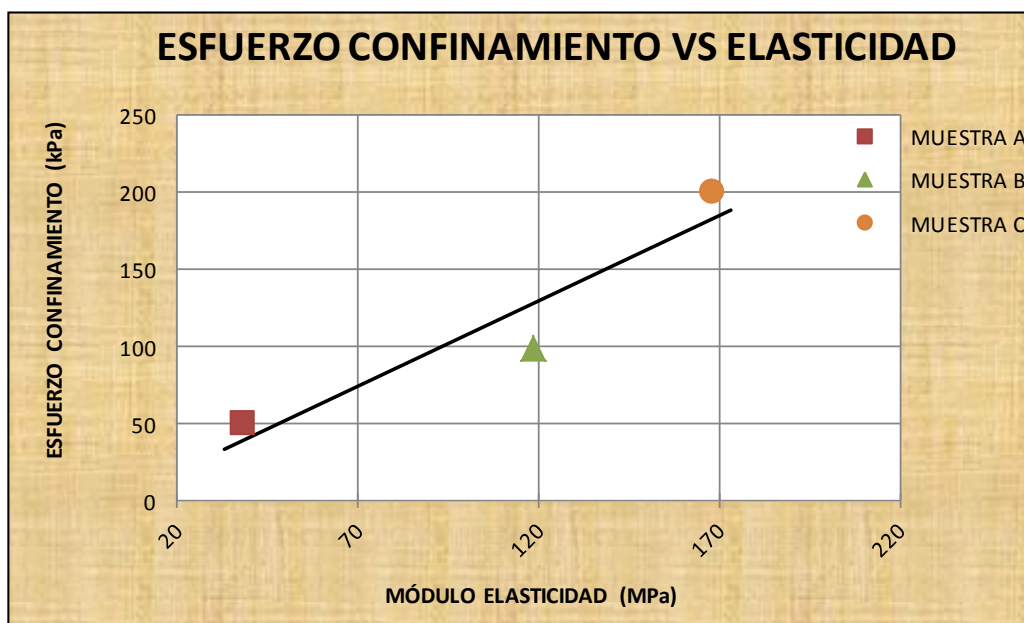
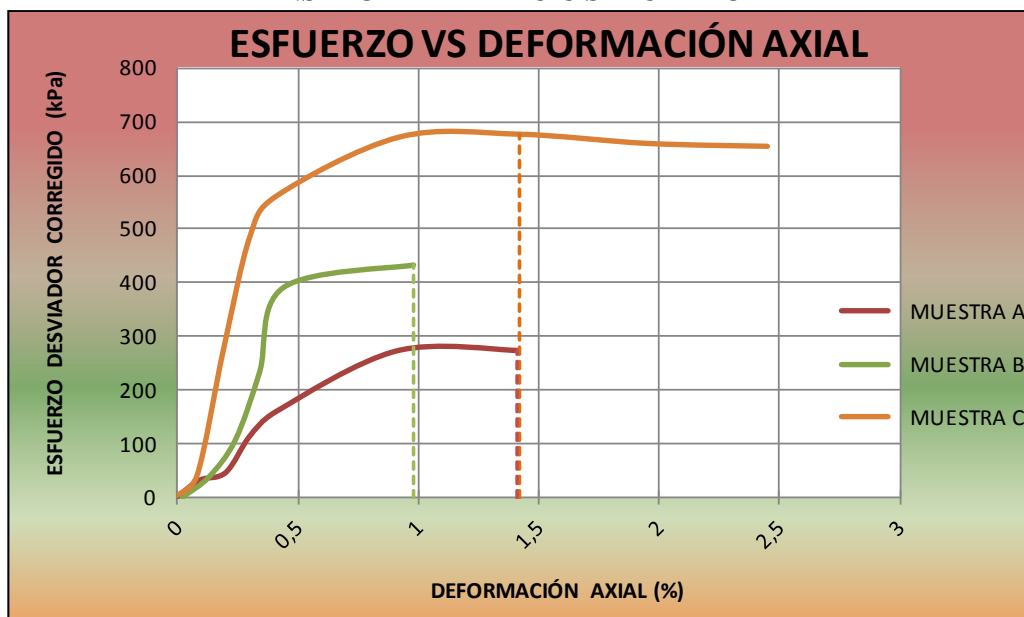
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 5

Denominación original Muestra#: 300015

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,105 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-2,86 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 5

Denominación original Muestra#: 300015

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	274,40	50,00	324,40	187,20	137,20
B	433,20	99,40	532,60	316,00	216,60
C	676,40	200,80	877,20	539,00	338,20

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

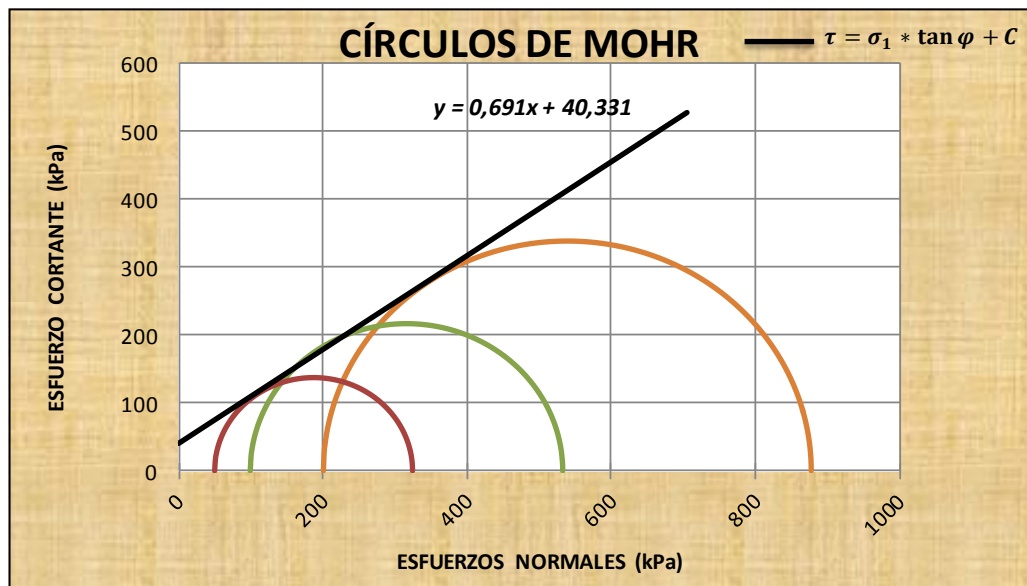
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 33,181

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5685

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9989

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 40,331

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 34,64°



Elaboración Propia

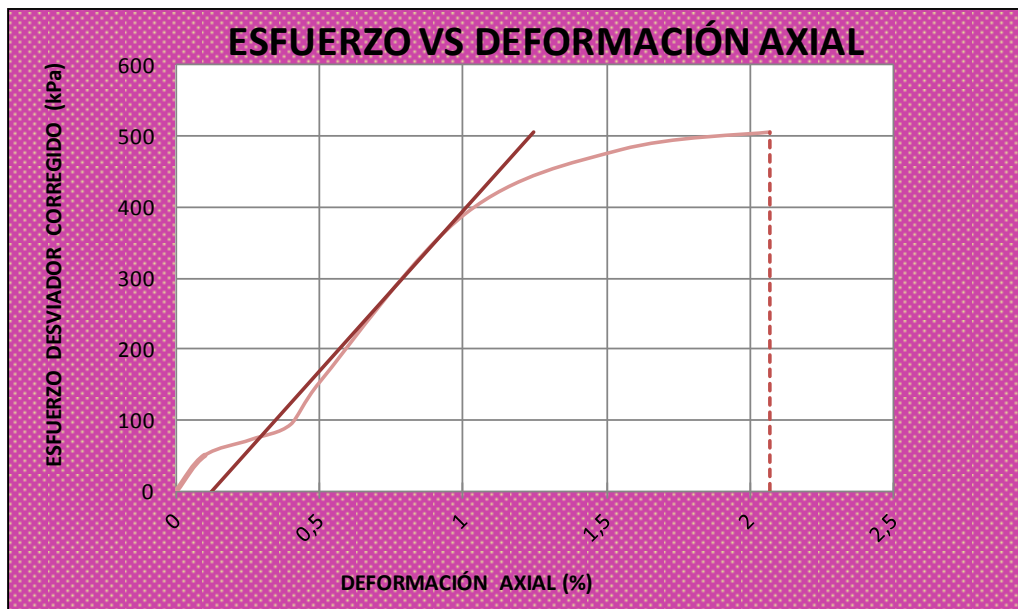
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 6 - A

Denominación original Muestra#: 300016 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	505,60	50,40	556,00	303,20	252,80

H _{PROMEDIO}	142,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,47 mm
A _{PROMEDIO}	3682,06 mm ²
V _{PROMEDIO}	5232,20 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,42 KN/m ³
P _{MUESTRA}	912,74 g
n Porosidad	52,15 %
GS	2,60
H%	40,10 %
A Grado Aireación	4,20 %

E
[MPa]
45,12

ε
[m/m]
0,0207

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
1,09

φ
[°]
30,98

C
[KPa]
114,38

Elaboración Propia

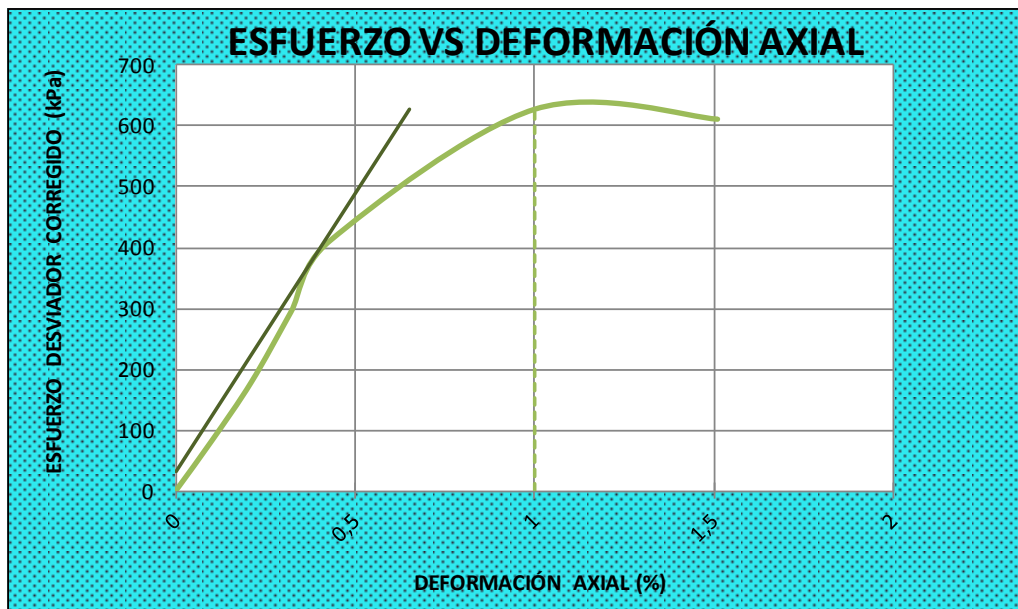
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 6 - B

Denominación original Muestra#: 300016 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	627,40	101,10	728,50	414,80	313,70

H _{PROMEDIO}	142,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,47 mm
A _{PROMEDIO}	3682,06 mm ²
V _{PROMEDIO}	5232,20 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,42 KN/m ³
P _{MUESTRA}	912,74 g
n Porosidad	52,15 %
GS	2,60
H%	40,10 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
91,52

ϵ
[m/m]
0,0100

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
1,09

ϕ
[°]
30,98

C
[KPa]
114,38

Elaboración Propia

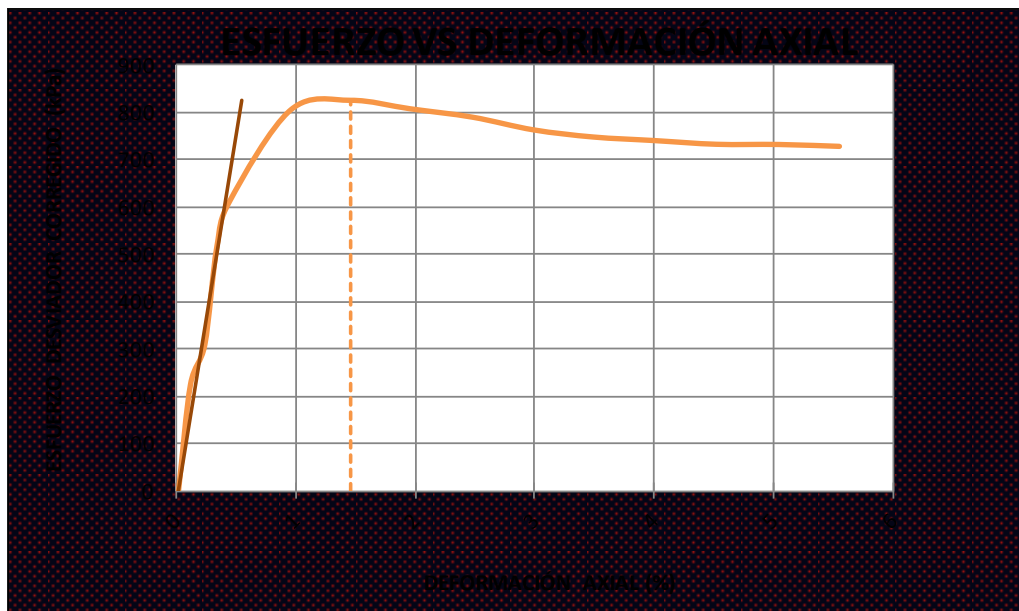
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 1 - 6 - C

Denominación original Muestra#: 300016 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	825,70	200,10	1025,80	612,95	412,85

H _{PROMEDIO}	142,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,47 mm
A _{PROMEDIO}	3682,06 mm ²
V _{PROMEDIO}	5232,20 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,42 KN/m ³
P _{MUESTRA}	912,74 g
n Porosidad	52,15 %
GS	2,60
H%	40,10 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
155,63

ϵ
[m/m]
0,0146

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
1,09

ϕ
[°]
30,98

C
[KPa]
114,38

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

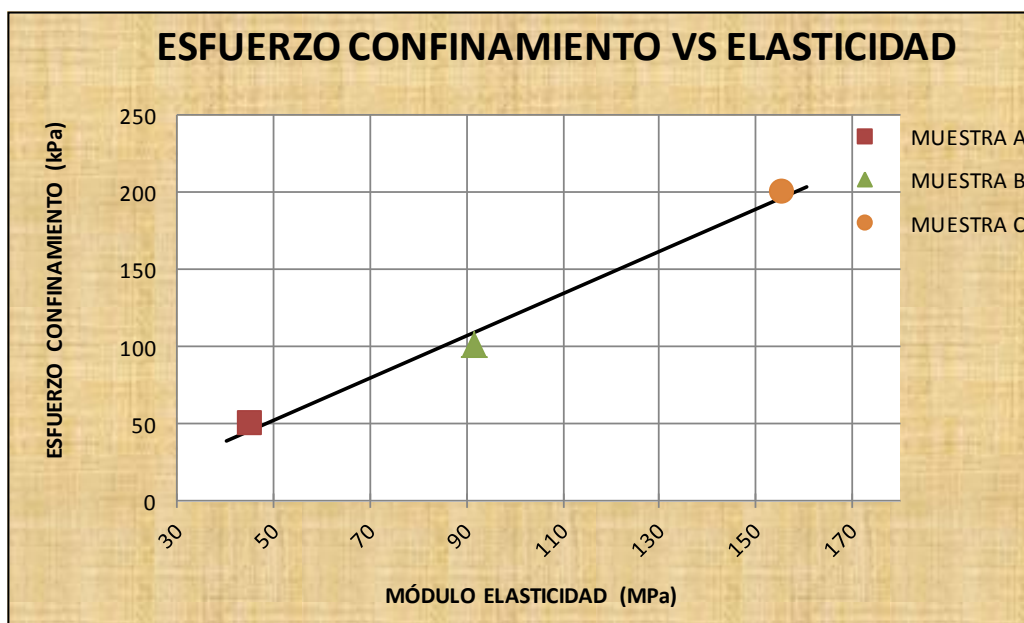
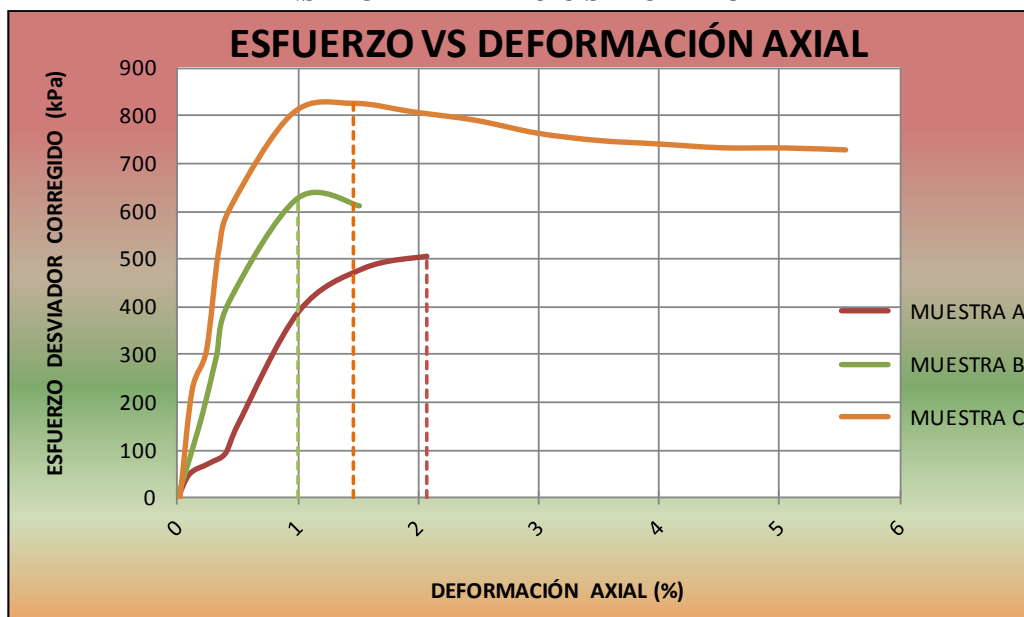
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 6

Denominación original Muestra#: 300016

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,366 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-15,91 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 1 - 6

Denominación original Muestra#: 300016

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENOSO CON POMEZ CON GRUMOS
ENDURECIDOS COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	505,60	50,40	556,00	303,20	252,80
B	627,40	101,10	728,50	414,80	313,70
C	825,70	200,10	1025,80	612,95	412,85

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

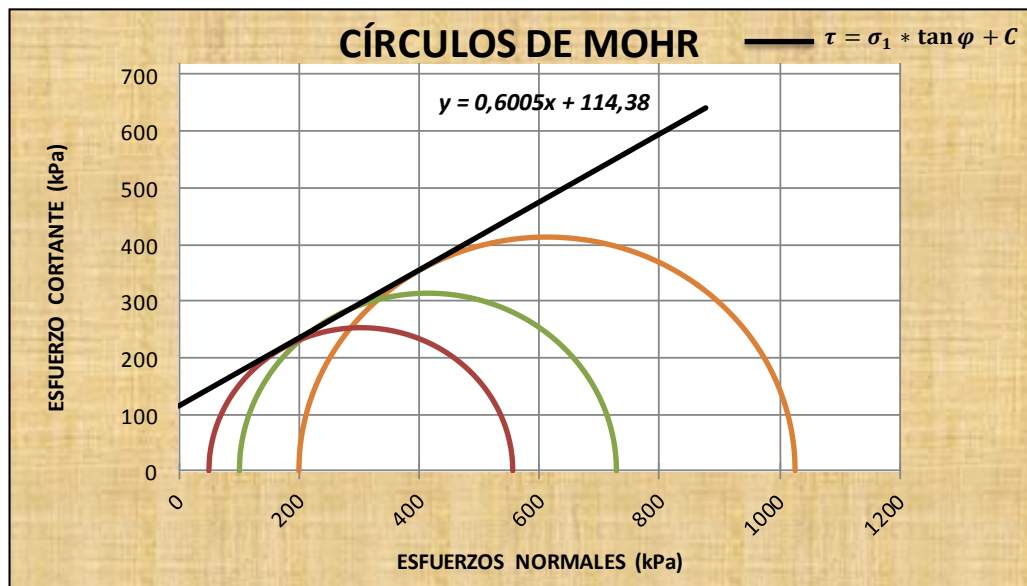
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 98,054

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5148

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9995

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 114,375

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 30,98°



Elaboración Propia

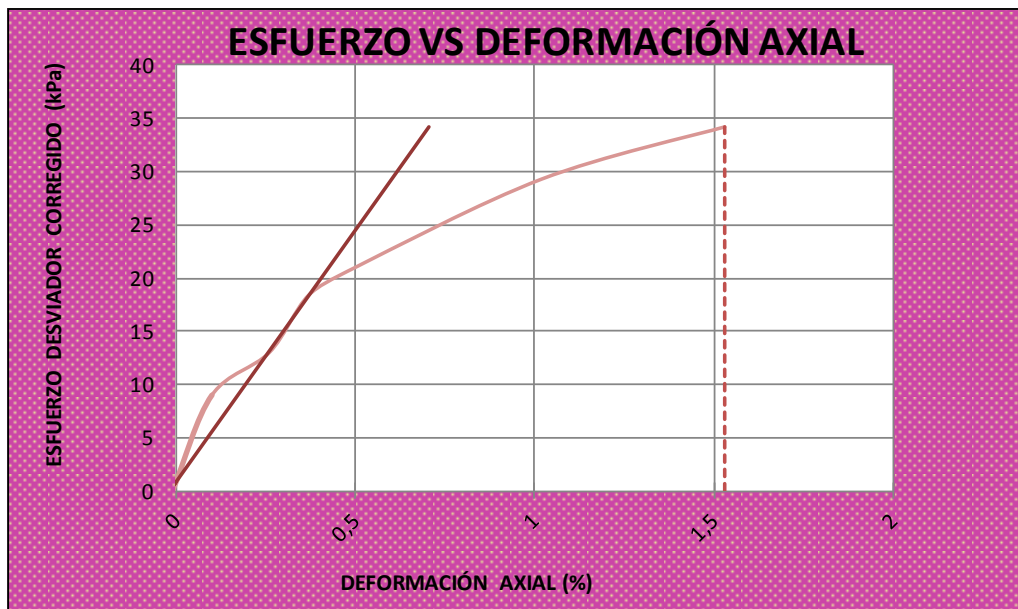
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 300021 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	34,20	51,60	85,80	68,70	17,10

H _{PROMEDIO}	132,70 mm
D _{PROMEDIO}	66,90 mm
A _{PROMEDIO}	3515,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	4664,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,30 KN/m ³
P _{MUESTRA}	747,75 g
n Porosidad	57,81 %
GS	2,68
H%	41,60 %
A _{Grado Aireación}	18,50 %

E
[MPa]
4,73

ϵ
[m/m]
0,0153

S
[%]
81,50

e
Relación vacíos
1,37

ϕ
[°]
19,14

C
[KPa]
0,00

Elaboración Propia

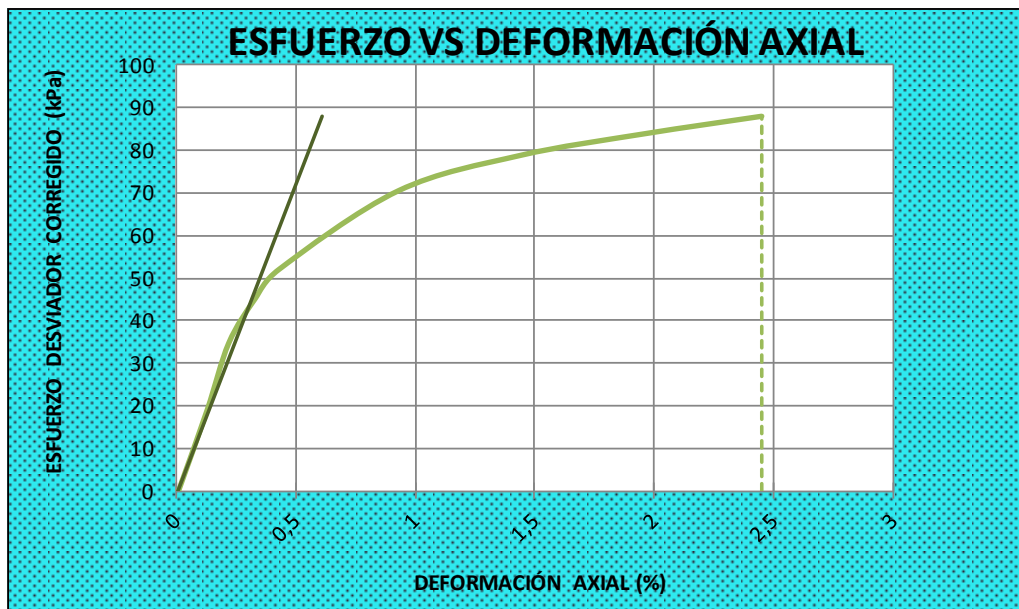
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 300021 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	88,00	100,70	188,70	144,70	44,00

H _{PROMEDIO}	132,70 mm
D _{PROMEDIO}	66,90 mm
A _{PROMEDIO}	3515,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	4664,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,30 KN/m ³
P _{MUESTRA}	747,75 g
n Porosidad	57,81 %
GS	2,68
H%	41,60 %
A _{Grado Aireación}	18,50 %

E
[MPa]
14,59

ϵ
[m/m]
0,0245

S
[%]
81,50

e
Relación vacíos
1,37

φ
[°]
19,14

C
[KPa]
0,00

Elaboración Propia

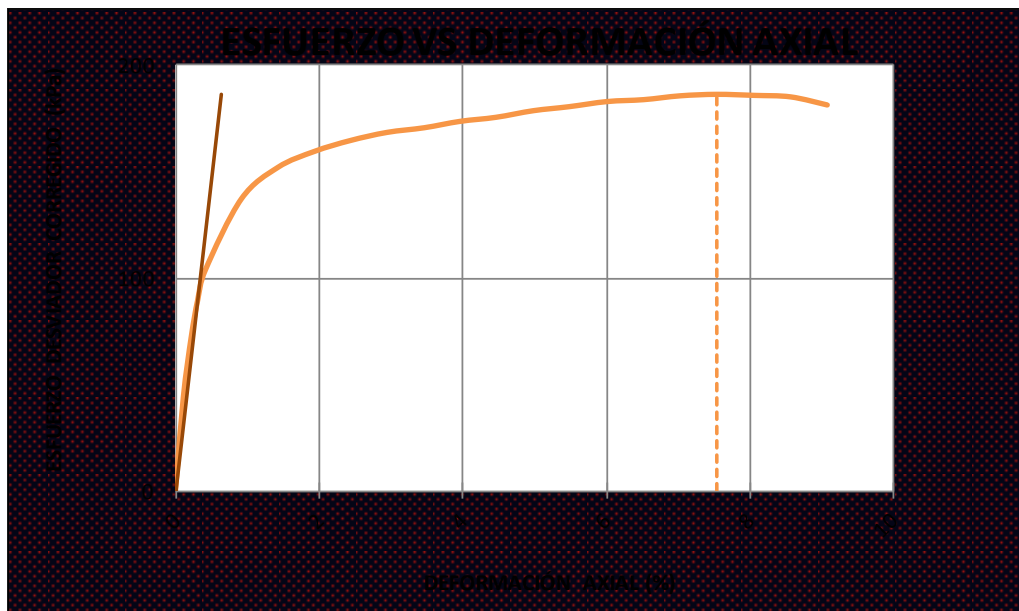
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 300021 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	180,50	200,40	380,90	290,65	90,25

H _{PROMEDIO}	132,70 mm
D _{PROMEDIO}	66,90 mm
A _{PROMEDIO}	3515,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	4664,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,30 KN/m ³
P _{MUESTRA}	747,75 g
n Porosidad	57,81 %
GS	2,68
H%	41,60 %
A _{Grado Aireación}	18,50 %

E
[MPa]
29,47

ϵ
[m/m]
0,0548

S
[%]
81,50

e
Relación vacíos
1,37

ϕ
[°]
19,14

C
[KPa]
0,00

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

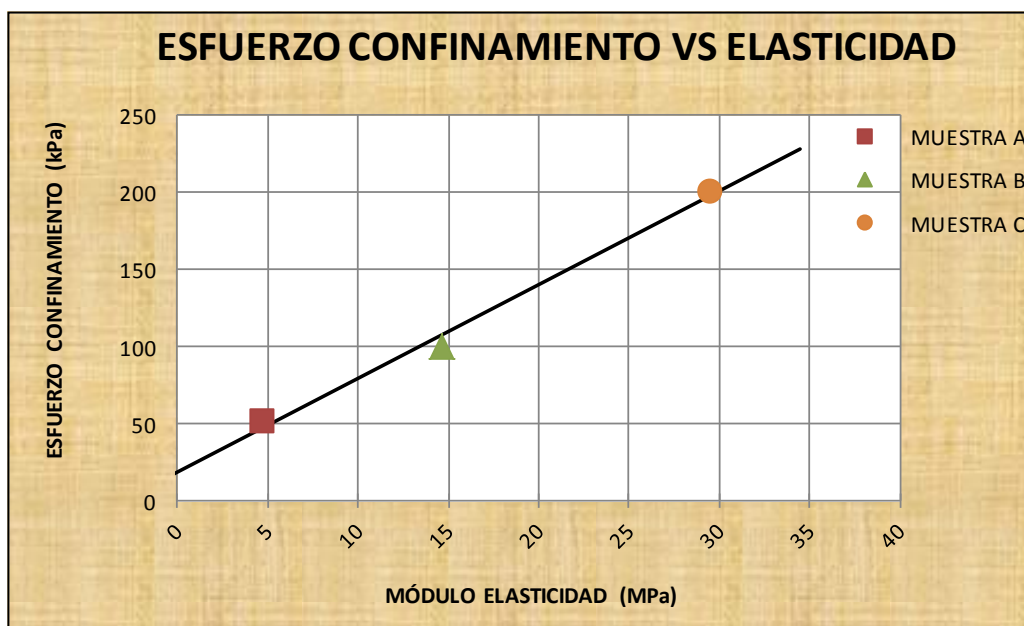
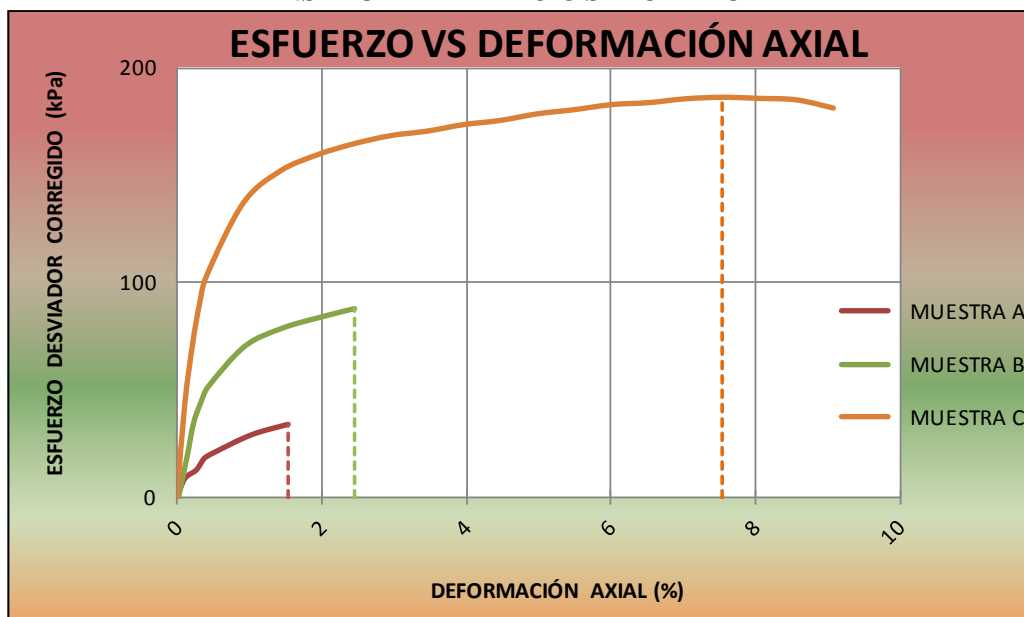
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 1

Denominación original Muestra#: 300021

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	6,070	$\cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	18,85	$\cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

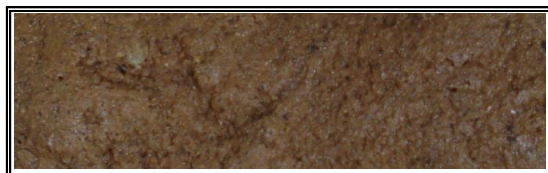
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 1

Denominación original Muestra#: 300021

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	34,20	51,60	85,80	68,70	17,10
B	88,00	100,70	188,70	144,70	44,00
C	180,50	200,40	380,90	290,65	90,25

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

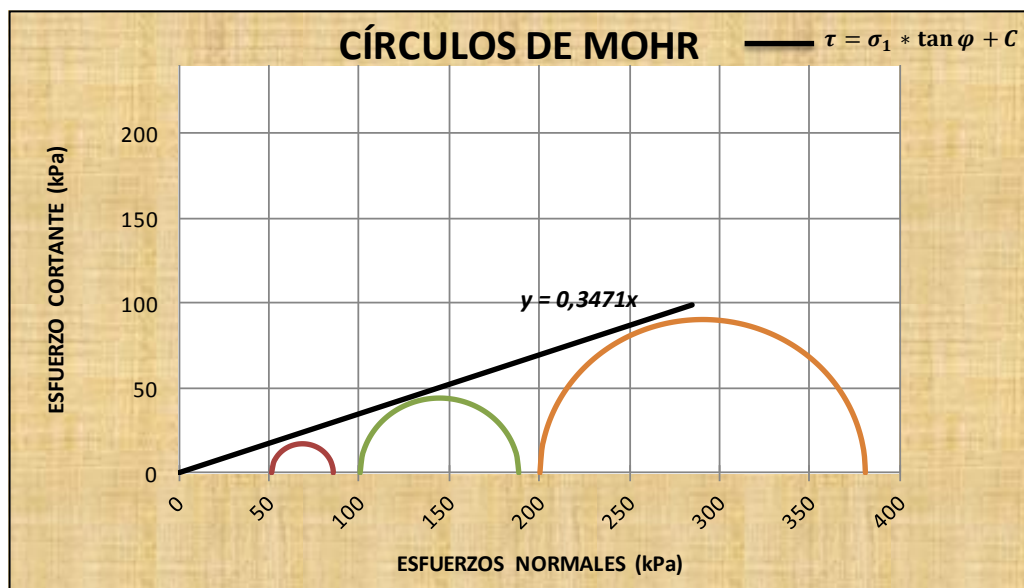
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) -4,640

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3279

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9992

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 0,000

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 19,14°



Elaboración Propia

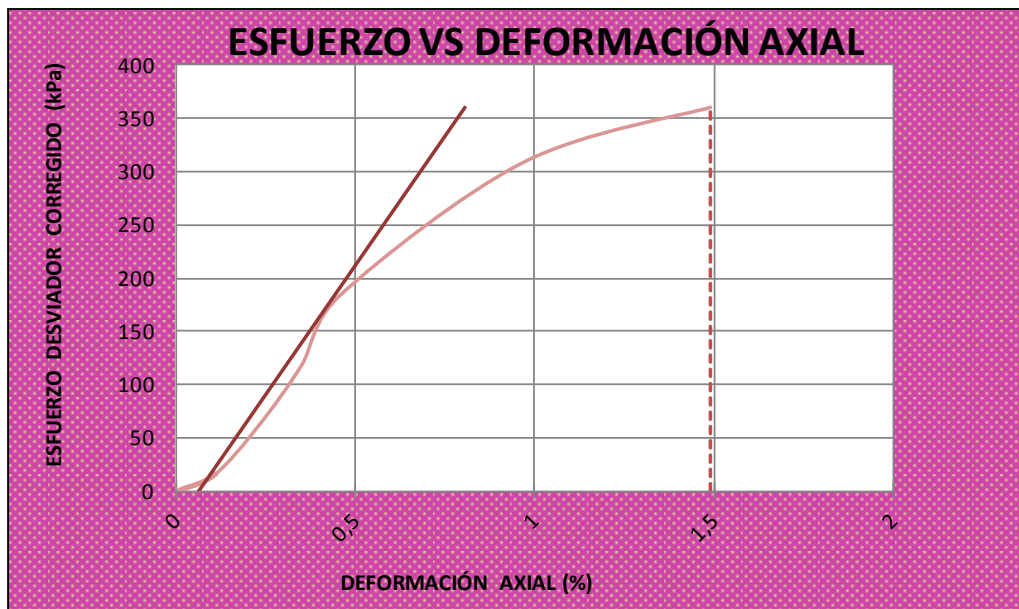
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 300022 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	360,30	49,80	410,10	229,95	180,15

H _{PROMEDIO}	141,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,90 mm
A _{PROMEDIO}	3621,01 mm ²
V _{PROMEDIO}	5134,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,46 KN/m ³
P _{MUESTRA}	893,37 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,63
H%	39,60 %
A Grado Aireación	6,20 %

E
[MPa]
48,57

ϵ
[m/m]
0,0149

S
[%]
93,80

e
Relación vacíos
1,11

ϕ
[°]
29,61

C
[KPa]
77,66

Elaboración Propia

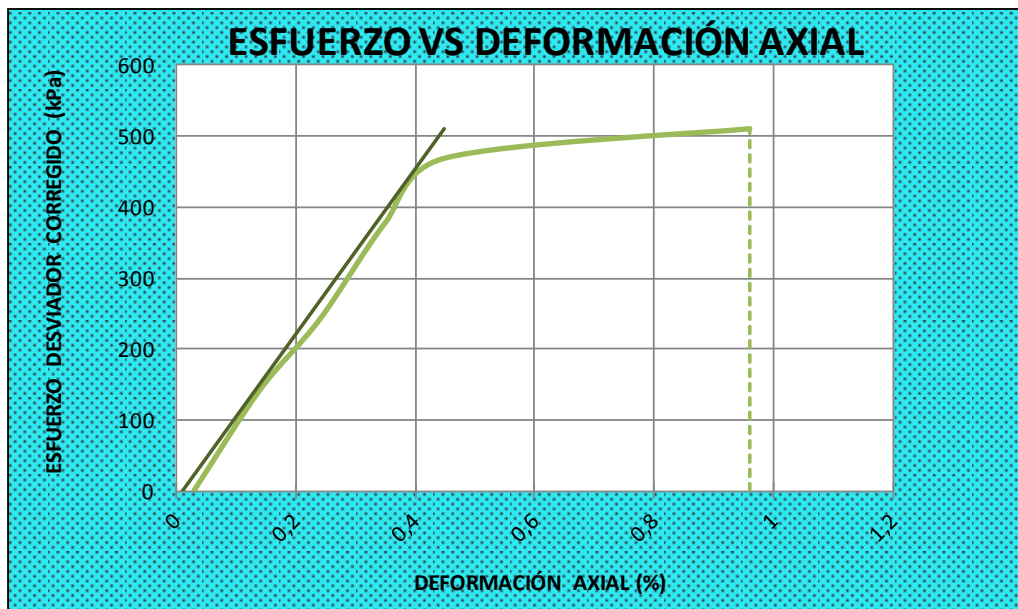
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 300022 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	469,00	100,40	569,40	334,90	234,50

H _{PROMEDIO}	141,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,90 mm
A _{PROMEDIO}	3621,01 mm ²
V _{PROMEDIO}	5134,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,46 KN/m ³
P _{MUESTRA}	893,37 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,63
H%	39,60 %
A _{Grado Aireación}	6,20 %

E
[MPa]
116,56

ϵ
[m/m]
0,0045

S
[%]
93,80

e
Relación vacíos
1,11

ϕ
[°]
29,61

C
[KPa]
77,66

Elaboración Propia

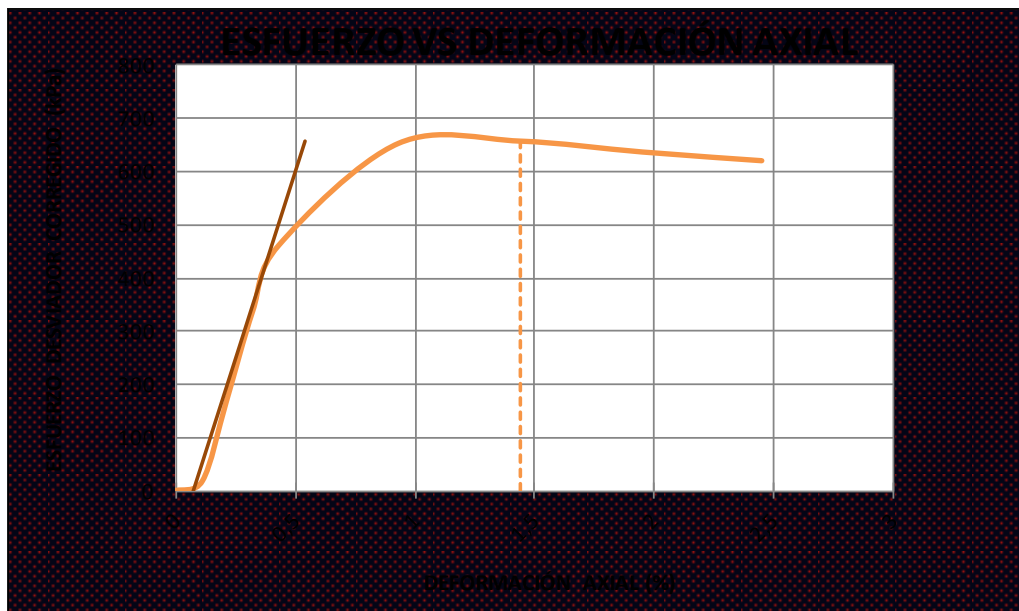
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 300022 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	657,20	200,90	858,10	529,50	328,60

H _{PROMEDIO}	141,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,90 mm
A _{PROMEDIO}	3621,01 mm ²
V _{PROMEDIO}	5134,59 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,46 KN/m ³
P _{MUESTRA}	893,37 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,63
H%	39,60 %
A _{Grado Aireación}	6,20 %

E
[MPa]
140,58

ϵ
[m/m]
0,0144

S
[%]
93,80

e
Relación vacíos
1,11

φ
[°]
29,61

C
[KPa]
77,66

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

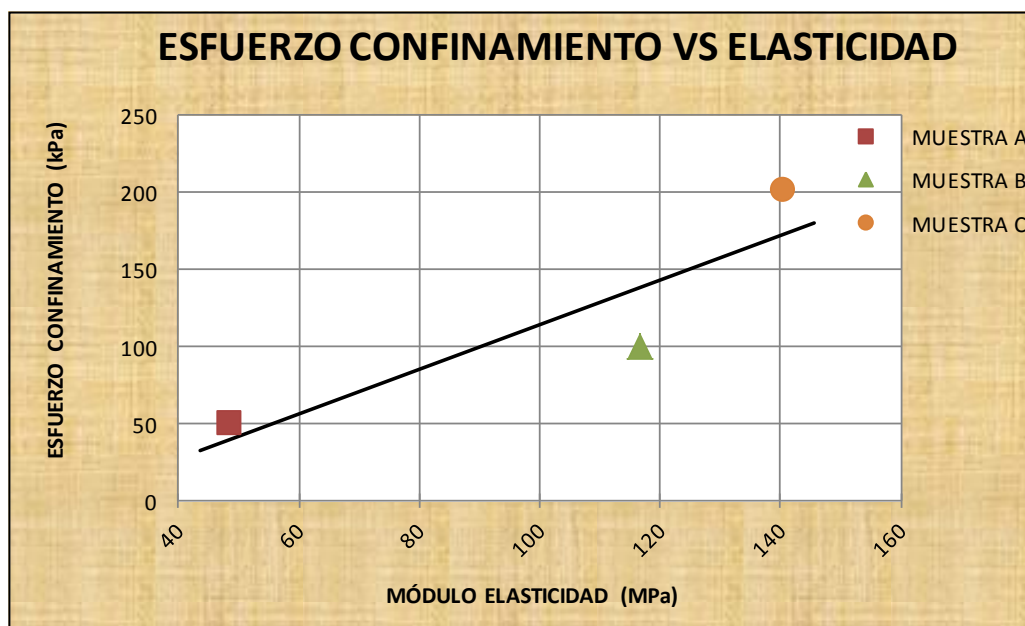
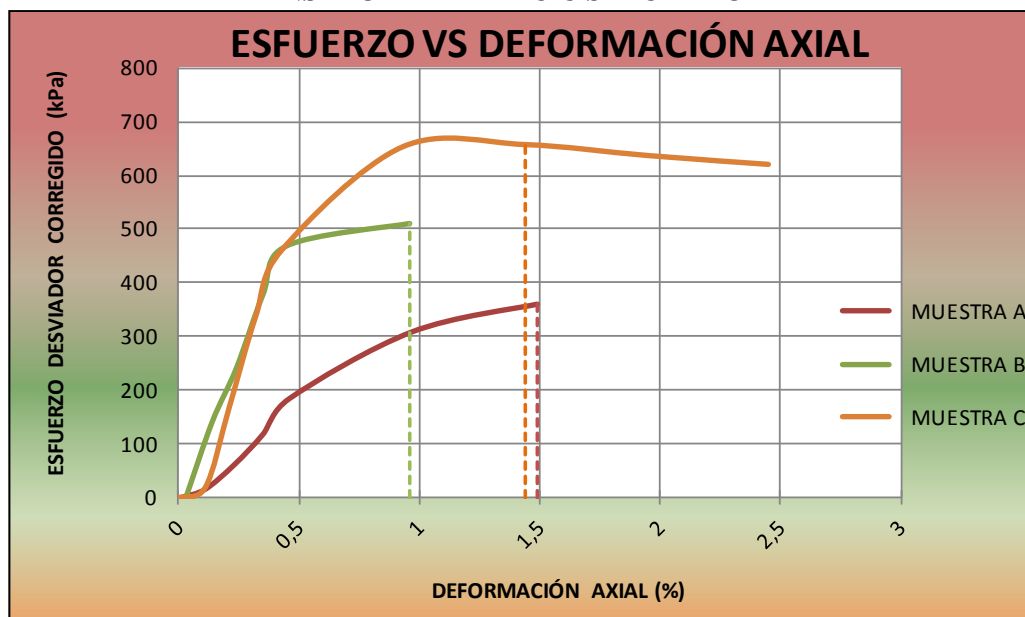
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 2

Denominación original Muestra#: 300022

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,446 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-30,29 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 2

Denominación original Muestra#: 300022

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	360,30	49,80	410,10	229,95	180,15
B	469,00	100,40	569,40	334,90	234,50
C	657,20	200,90	858,10	529,50	328,60

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

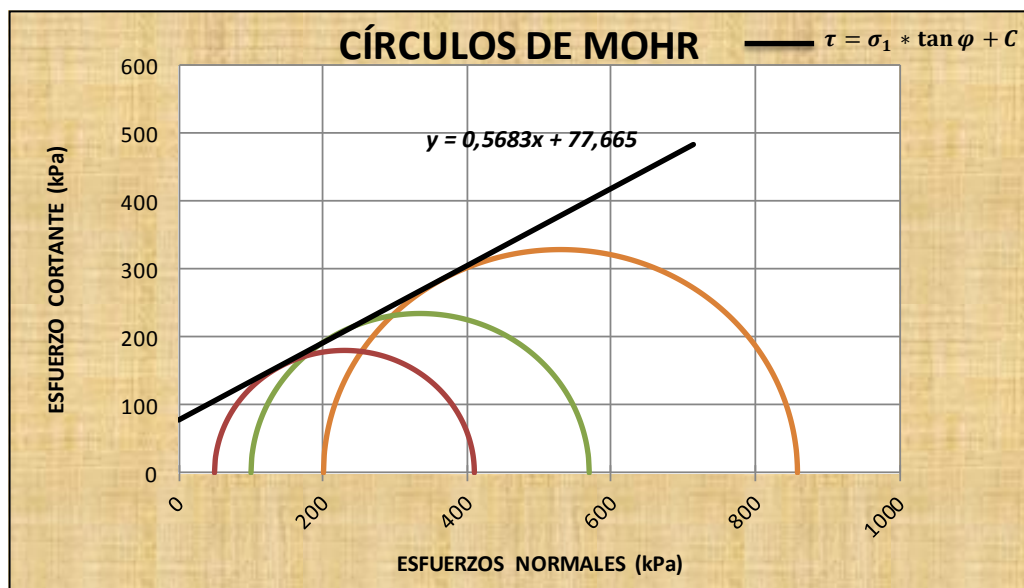
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 67,524

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4941

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9997

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 77,665

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 29.61°



Elaboración Propia

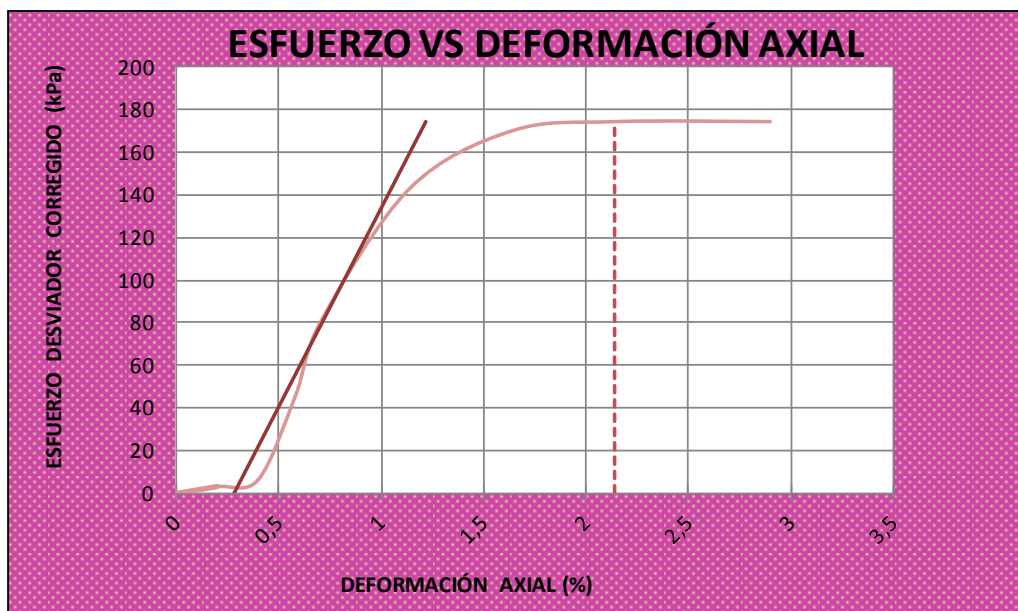
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 3 - A

Denominación original Muestra#: 300023 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	174,40	50,40	224,80	137,60	87,20

H _{PROMEDIO}	140,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,33 mm
A _{PROMEDIO}	3667,02 mm ²
V _{PROMEDIO}	5141,16 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	12,77 KN/m ³
P _{MUESTRA}	871,48 g
n Porosidad	48,98 %
GS	2,49
H%	33,10 %
A Grado Aireación	13,70 %

E
[MPa]
18,66

ϵ
[m/m]
0,0164

S
[%]
86,30

e
Relación vacíos
0,96

φ
[°]
24,29

C
[KPa]
32,78

Elaboración Propia

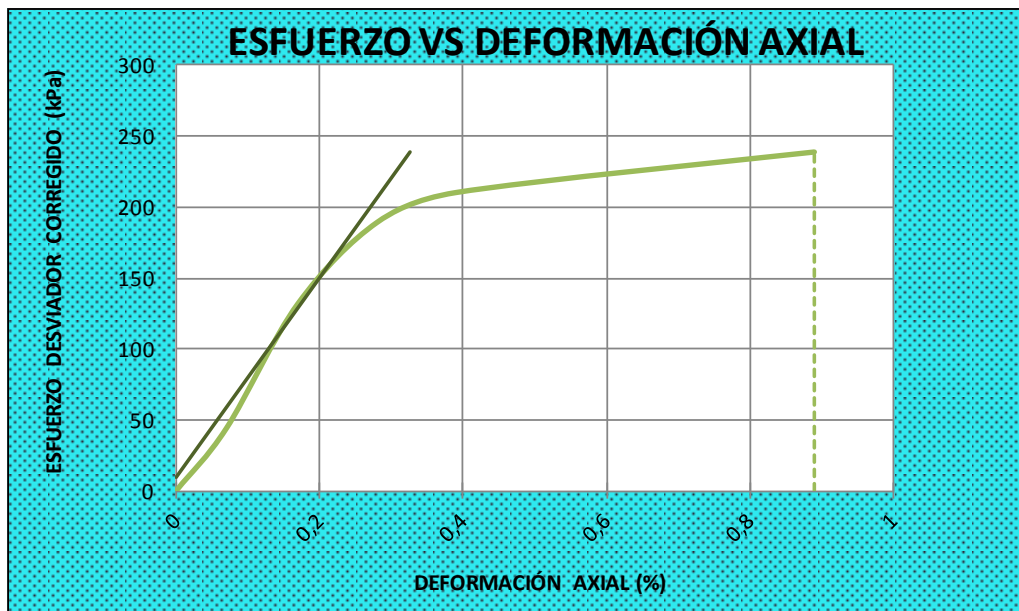
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 3 - B

Denominación original Muestra#: 300023 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	238,80	100,90	339,70	220,30	119,40

H _{PROMEDIO}	140,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,33 mm
A _{PROMEDIO}	3667,02 mm ²
V _{PROMEDIO}	5141,16 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	12,77 KN/m ³
P _{MUESTRA}	871,48 g
n Porosidad	48,98 %
GS	2,49
H%	33,10 %
A _{Grado Aireación}	13,70 %

E
[MPa]
70,29

ϵ
[m/m]
0,0089

S
[%]
86,30

e
Relación vacíos
0,96

ϕ
[°]
24,29

C
[KPa]
32,78

Elaboración Propia

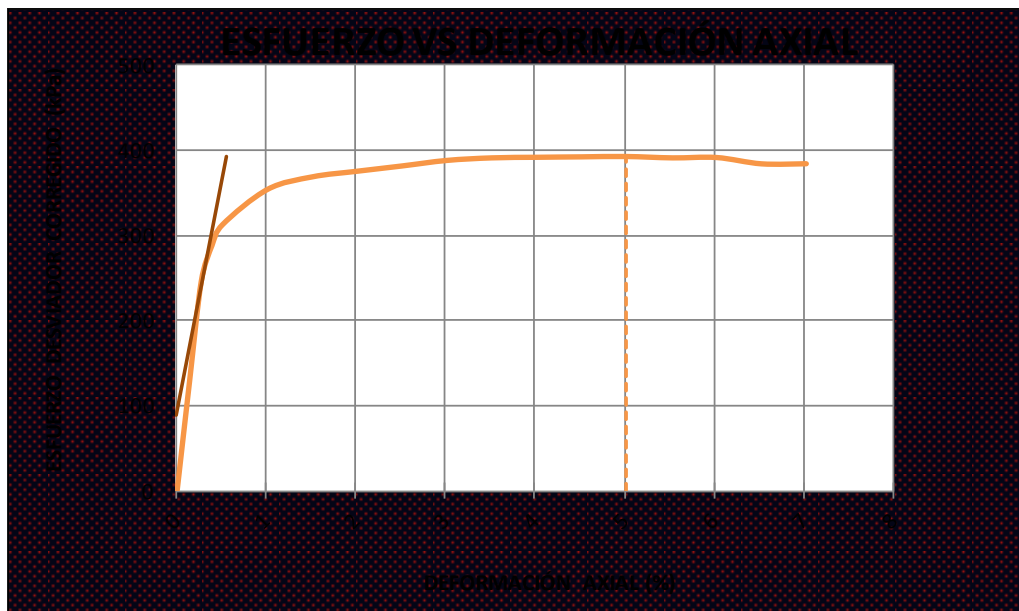
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 3 - C

Denominación original Muestra#: 300023 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	381,60	199,60	581,20	390,40	190,80

H _{PROMEDIO}	140,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,33 mm
A _{PROMEDIO}	3667,02 mm ²
V _{PROMEDIO}	5141,16 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	12,77 KN/m ³
P _{MUESTRA}	871,48 g
n Porosidad	48,98 %
GS	2,49
H%	33,10 %
A _{Grado Aireación}	13,70 %

E
[MPa]
54,20

ϵ
[m/m]
0,0252

S
[%]
86,30

e
Relación vacíos
0,96

ϕ
[°]
24,29

C
[KPa]
32,78

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

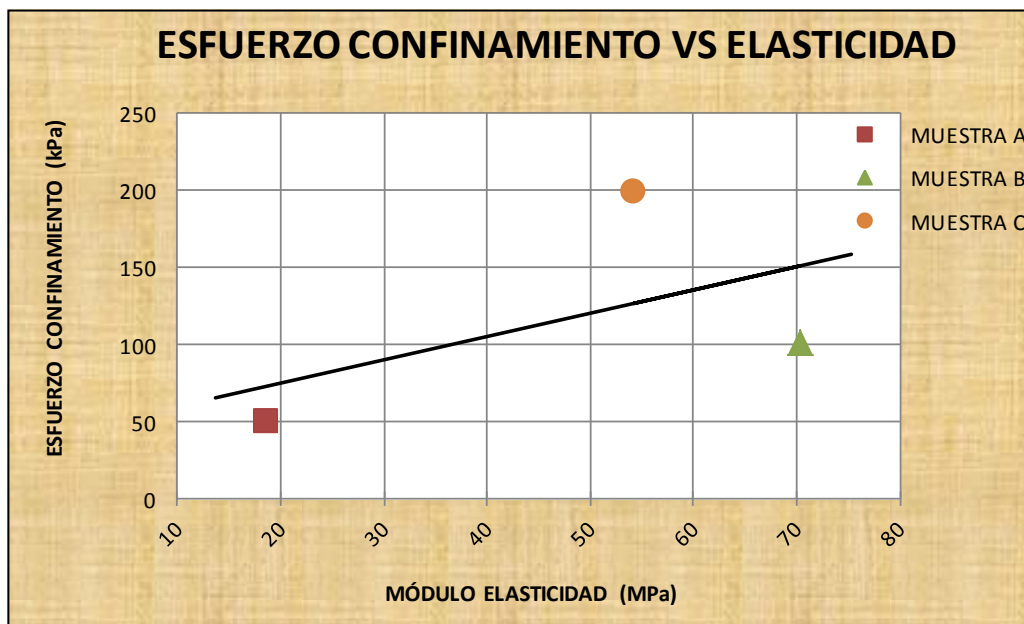
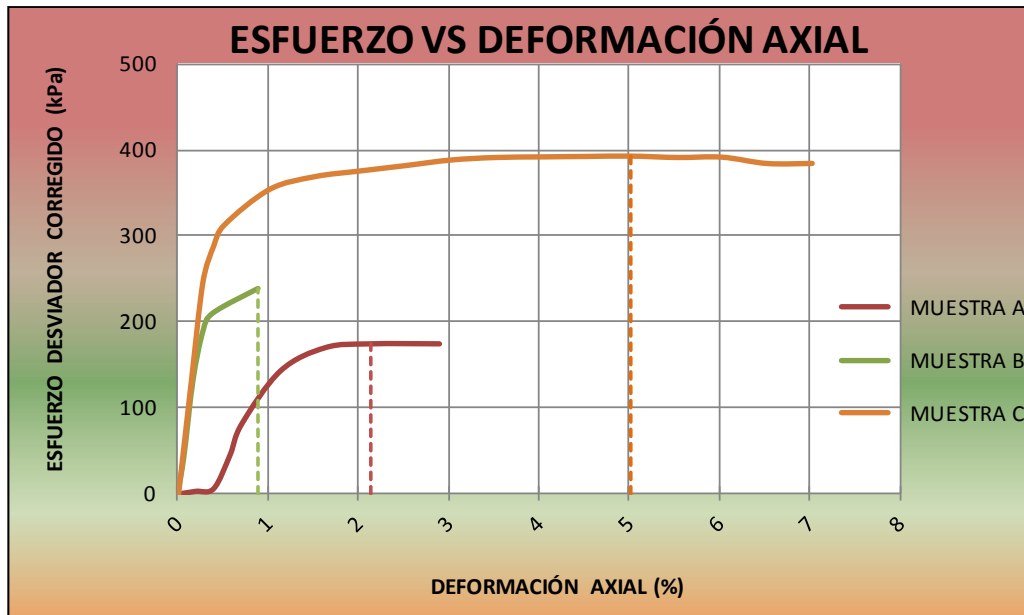
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 3

Denominación original Muestra#: 300023

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	1,509	$\cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	44,95	$\cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 3

Denominación original Muestra#: 300023

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON RAICES COLOR CAFE GRISACEO



Clasif. SUCS
CL-ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	174,40	50,40	224,80	137,60	87,20
B	238,80	100,90	339,70	220,30	119,40
C	381,60	199,60	581,20	390,40	190,80

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

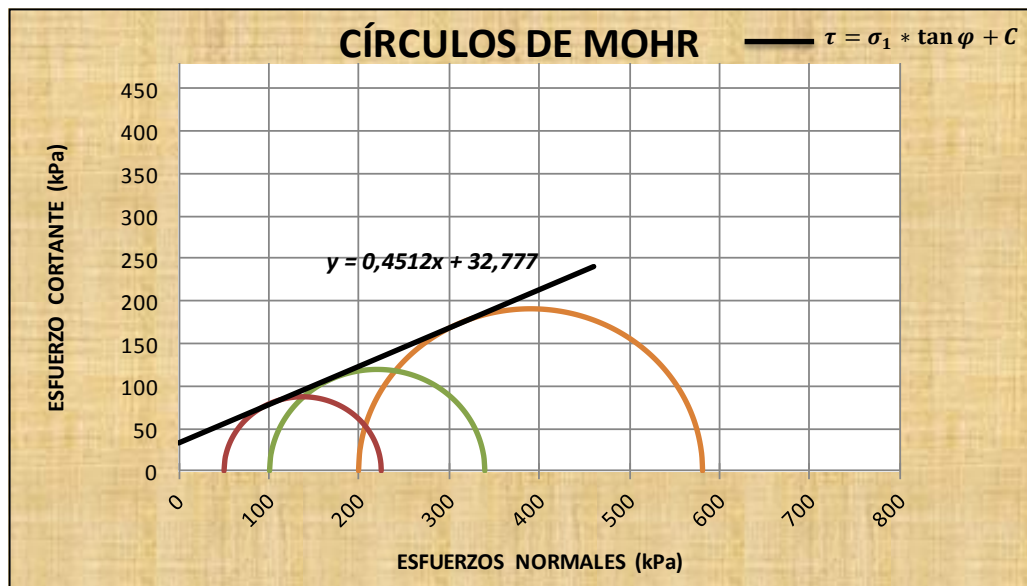
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 29,876

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4113

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9997

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 32,777

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 24.29°



Elaboración Propia

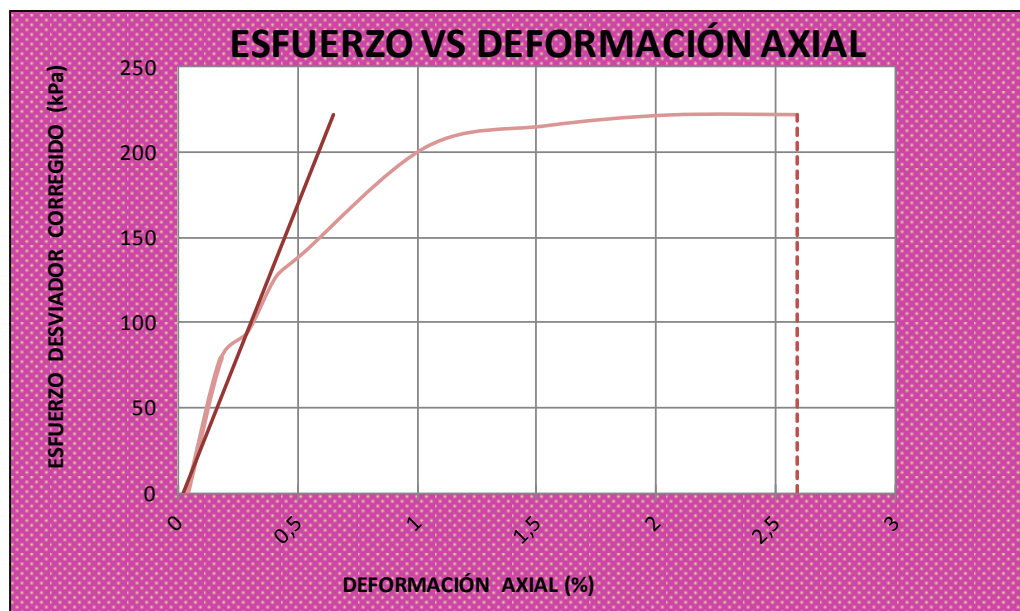
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 4 - A

Denominación original Muestra#: 300024 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	222,10	49,30	271,40	160,35	111,05

H _{PROMEDIO}	141,10 mm
D _{PROMEDIO}	66,90 mm
A _{PROMEDIO}	3515,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	4959,86 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,30 KN/m ³
γ _{SECA}	12,38 KN/m ³
P _{MUESTRA}	858,26 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,61
H%	39,70 %
A _{Grado Aireación}	6,50 %

E
[MPa]
35,36

ϵ
[m/m]
0,0259

S
[%]
93,50

e
Relación vacíos
1,11

φ
[°]
24,11

C
[KPa]
52,28

Elaboración Propia

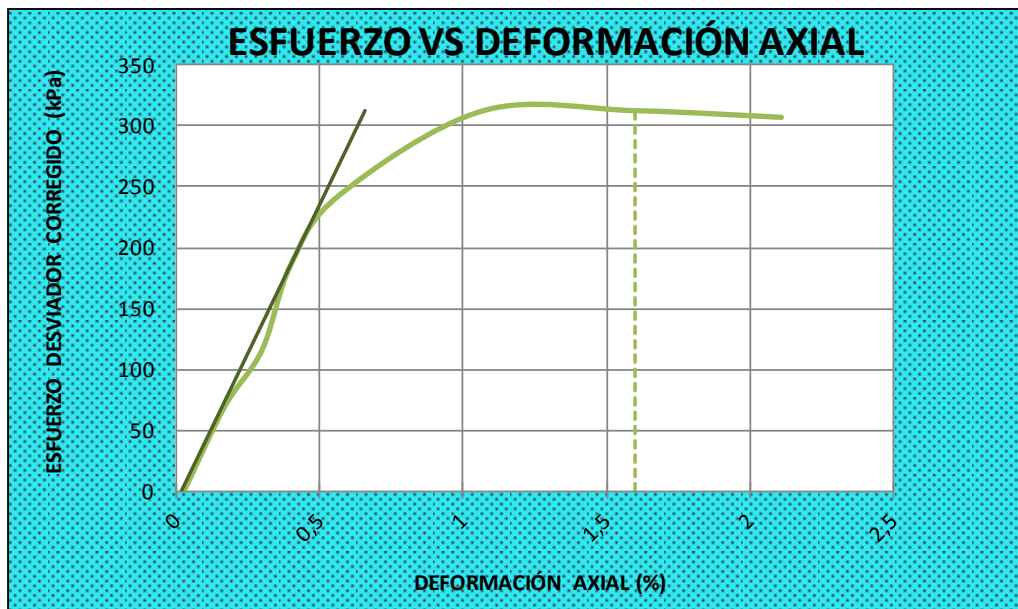
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 4 - B

Denominación original Muestra#: 300024 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	312,40	100,80	413,20	257,00	156,20

H _{PROMEDIO}	141,10 mm
D _{PROMEDIO}	66,90 mm
A _{PROMEDIO}	3515,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	4959,86 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,30 KN/m ³
γ _{SECA}	13,31 KN/m ³
P _{MUESTRA}	858,26 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,61
H%	30,00 %
A _{Grado Aireación}	6,50 %

E
[MPa]
48,86

ϵ
[m/m]
0,0107

S
[%]
93,50

e
Relación vacíos
1,11

ϕ
[°]
24,11

C
[KPa]
52,28

Elaboración Propia

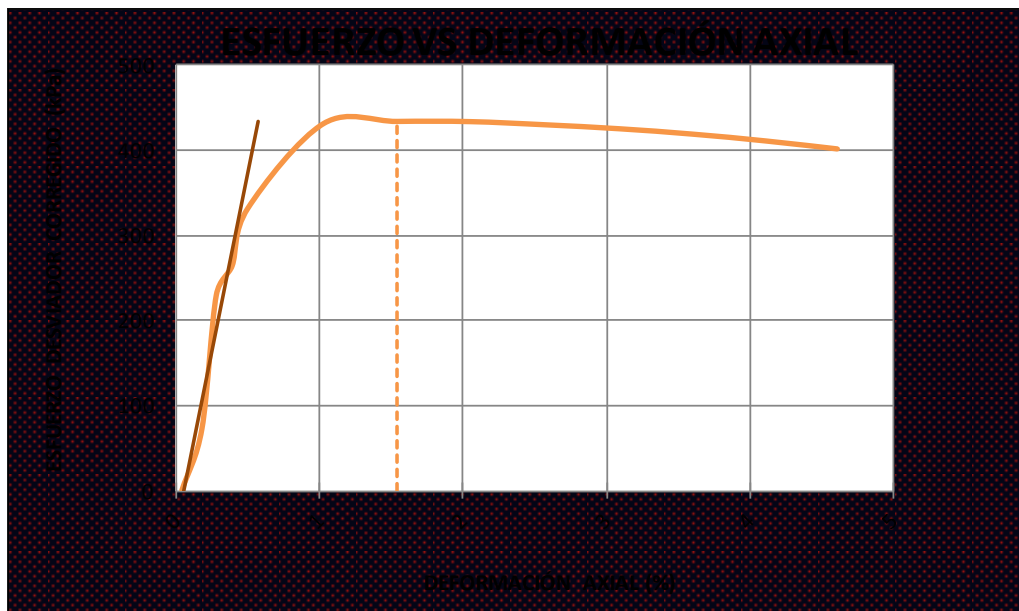
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 4 - C

Denominación original Muestra#: 300024 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	433,90	200,50	634,40	417,45	216,95

H _{PROMEDIO}	141,10 mm
D _{PROMEDIO}	66,90 mm
A _{PROMEDIO}	3515,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	4959,86 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,30 KN/m ³
γ _{SECA}	12,38 KN/m ³
P _{MUESTRA}	858,26 g
n Porosidad	52,61 %
GS	2,61
H%	39,70 %
A _{Grado Aireación}	6,50 %

E
[MPa]
83,69

ϵ
[m/m]
0,0154

S
[%]
93,50

e
Relación vacíos
1,11

ϕ
[°]
24,11

C
[KPa]
52,28

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

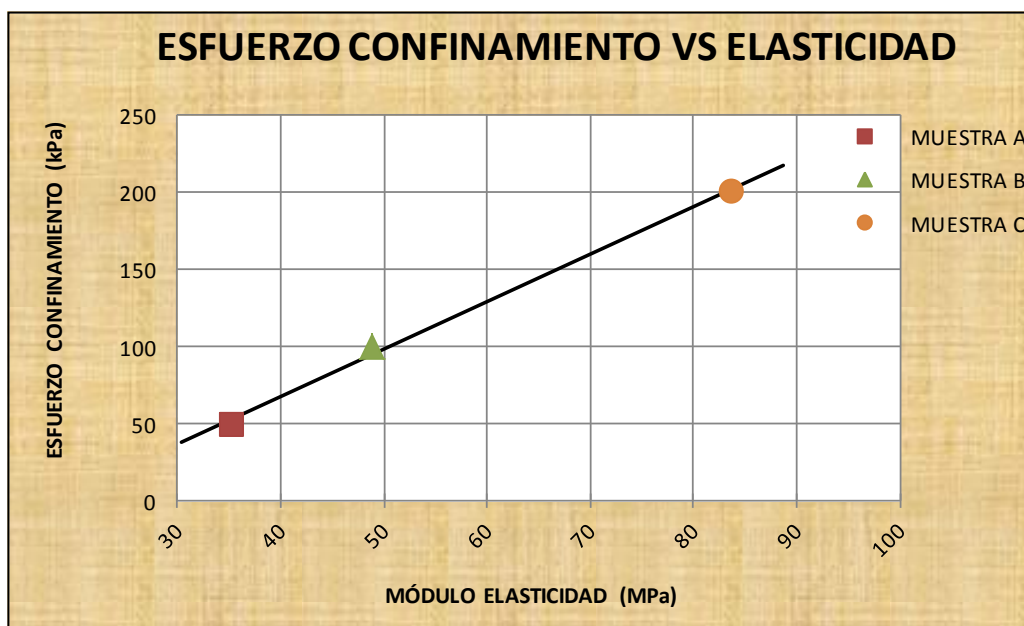
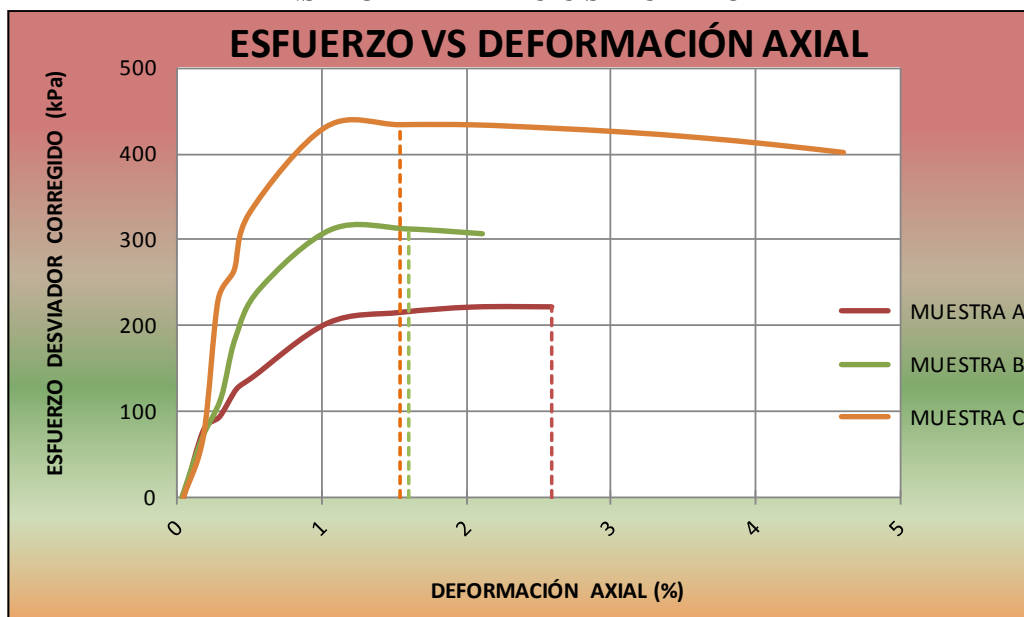
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 4

Denominación original Muestra#: 300024

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$3,076 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-55,28 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 4

Denominación original Muestra#: 300024

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENO ARCILLOSO CON RAICES CON POMEZ CON OXIDACIONES ANARANJADAS*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	222,10	49,30	271,40	160,35	111,05
B	312,40	100,80	413,20	257,00	156,20
C	433,90	200,50	634,40	417,45	216,95

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

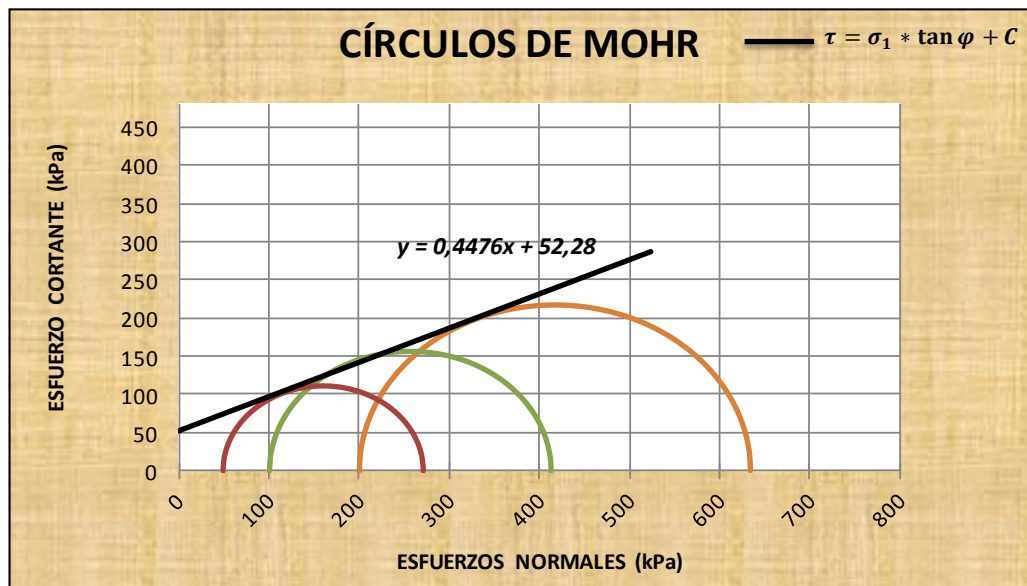
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 47,718

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4085

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9967

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 52,280

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 24,11°



Elaboración Propia

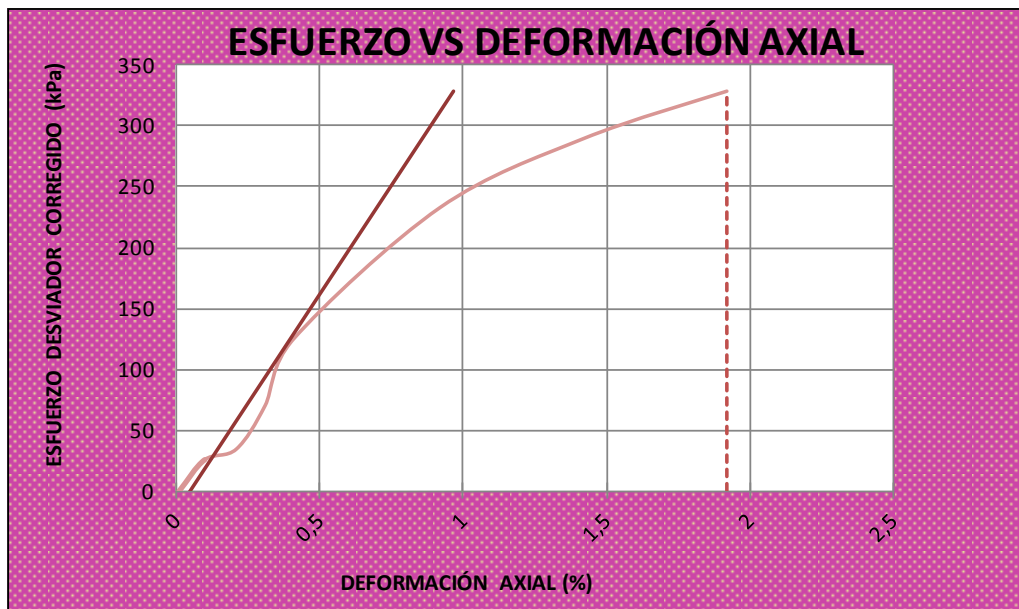
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 5 - A

Denominación original Muestra#: 300025 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	328,60	50,40	379,00	214,70	164,30

H _{PROMEDIO}	136,30 mm
D _{PROMEDIO}	67,83 mm
A _{PROMEDIO}	3613,55 mm ²
V _{PROMEDIO}	4925,26 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	11,56 KN/m ³
P _{MUESTRA}	793,97 g
n Porosidad	56,90 %
GS	2,69
H%	39,30 %
A _{Grado Aireación}	20,10 %

E
[MPa]
35,80

ϵ
[m/m]
0,0192

S
[%]
79,90

e
Relación vacíos
1,32

φ
[°]
31,11

C
[KPa]
65,33

Elaboración Propia

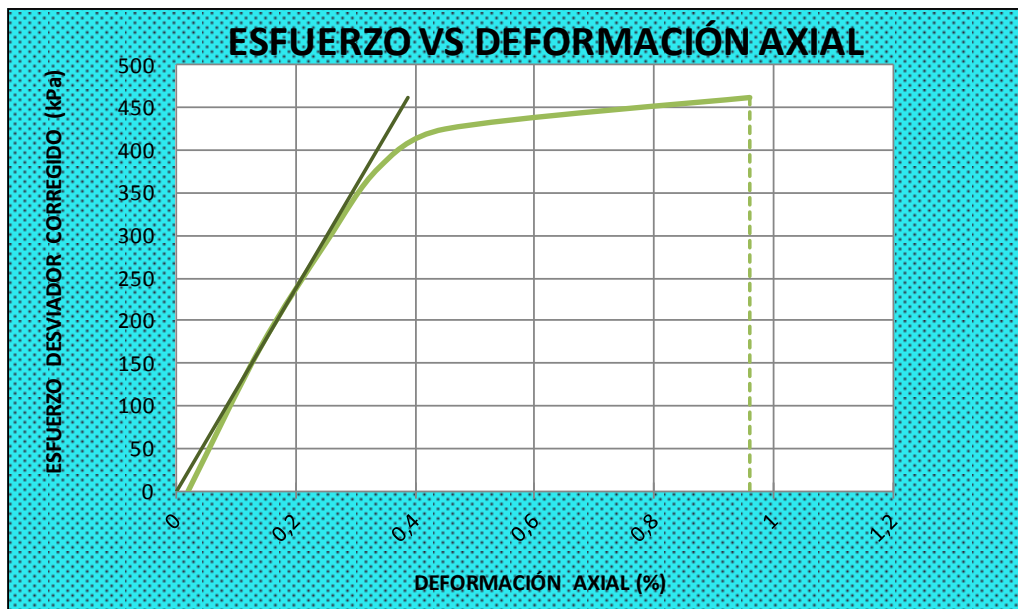
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 5 - B

Denominación original Muestra#: 300025 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	462,00	99,90	561,90	330,90	231,00

H _{PROMEDIO}	136,30 mm
D _{PROMEDIO}	67,83 mm
A _{PROMEDIO}	3613,55 mm ²
V _{PROMEDIO}	4925,26 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	11,56 KN/m ³
P _{MUESTRA}	793,97 g
n Porosidad	56,90 %
GS	2,69
H%	39,30 %
A _{Grado Aireación}	20,20 %

E
[MPa]
119,47

ϵ
[m/m]
0,0096

S
[%]
79,80

e
Relación vacíos
1,32

ϕ
[°]
31,11

C
[KPa]
65,33

Elaboración Propia

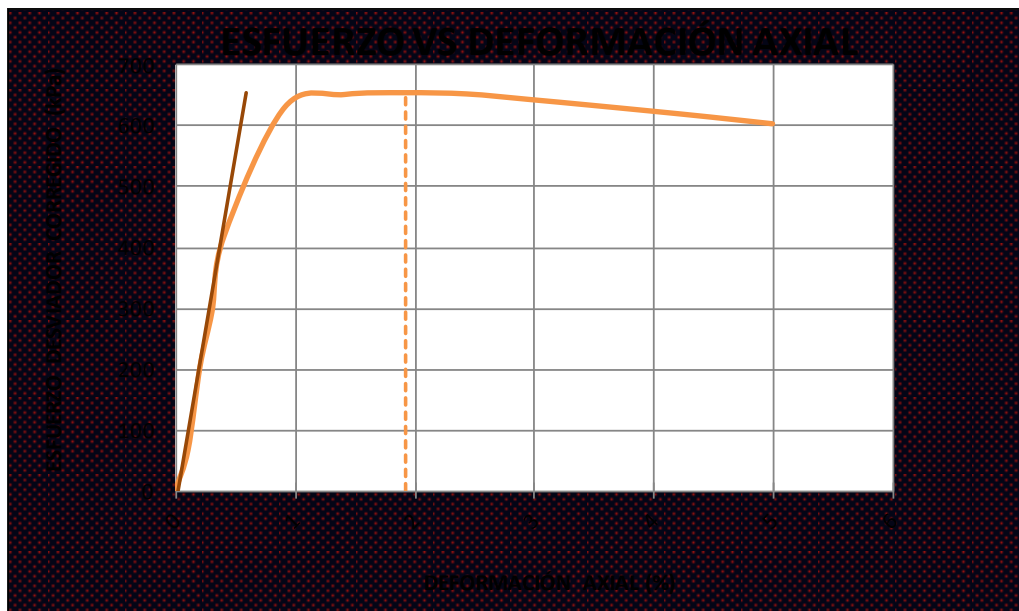
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 5 - C

Denominación original Muestra#: 300025 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	654,80	200,90	855,70	528,30	327,40

H _{PROMEDIO}	136,30 mm
D _{PROMEDIO}	67,83 mm
A _{PROMEDIO}	3613,55 mm ²
V _{PROMEDIO}	4925,26 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	11,56 KN/m ³
P _{MUESTRA}	793,97 g
n Porosidad	56,90 %
GS	2,69
H%	39,30 %
A _{Grado Aireación}	20,20 %

E
[MPa]
114,86

ϵ
[m/m]
0,0192

S
[%]
79,80

e
Relación vacíos
1,32

φ
[°]
31,11

C
[KPa]
65,33

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

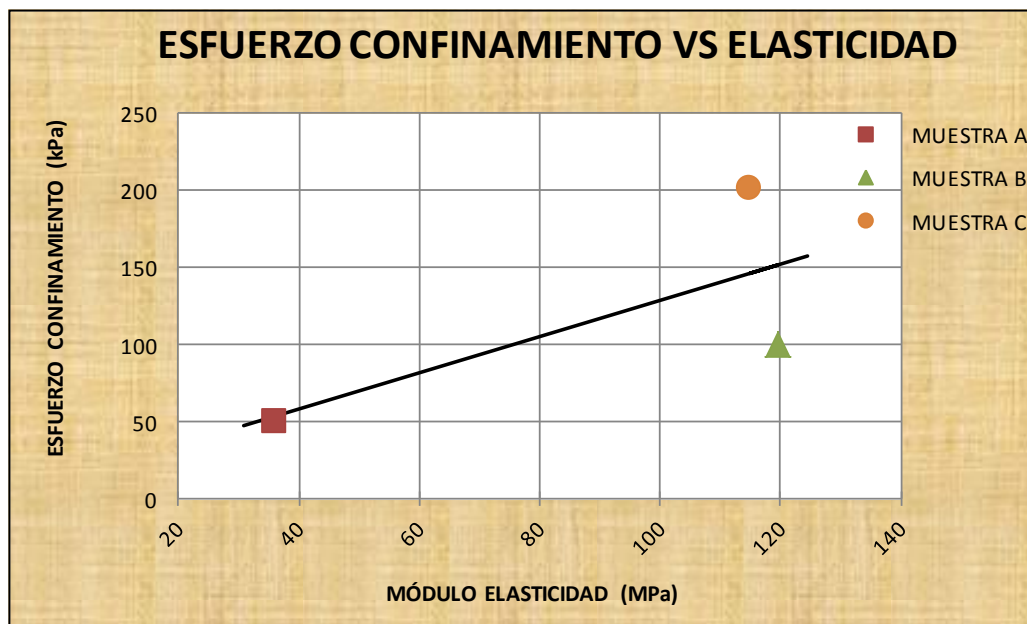
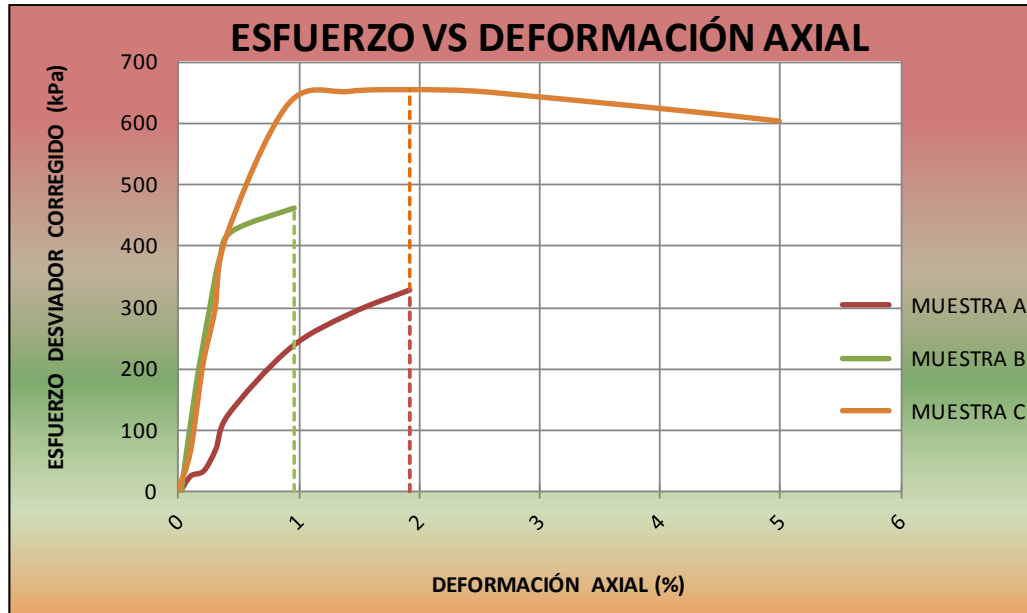
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 5

Denominación original Muestra#: 300025

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,173 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$11,41 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

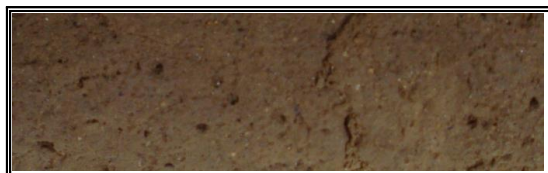
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 5

Denominación original Muestra#: 300025

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENOSO CON POMEZ Y GRAVILLA COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO*



Clasif. SUCS
SM

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	328,60	50,40	379,00	214,70	164,30
B	462,00	99,90	561,90	330,90	231,00
C	654,80	200,90	855,70	528,30	327,40

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

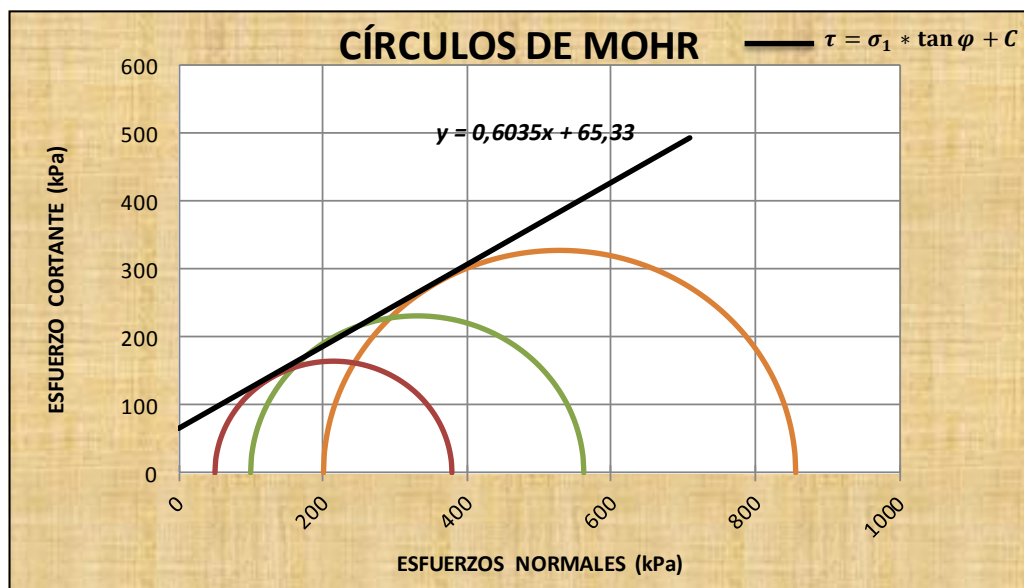
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 55,933

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5167

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9981

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 65,330

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 31.11°



Elaboración Propia

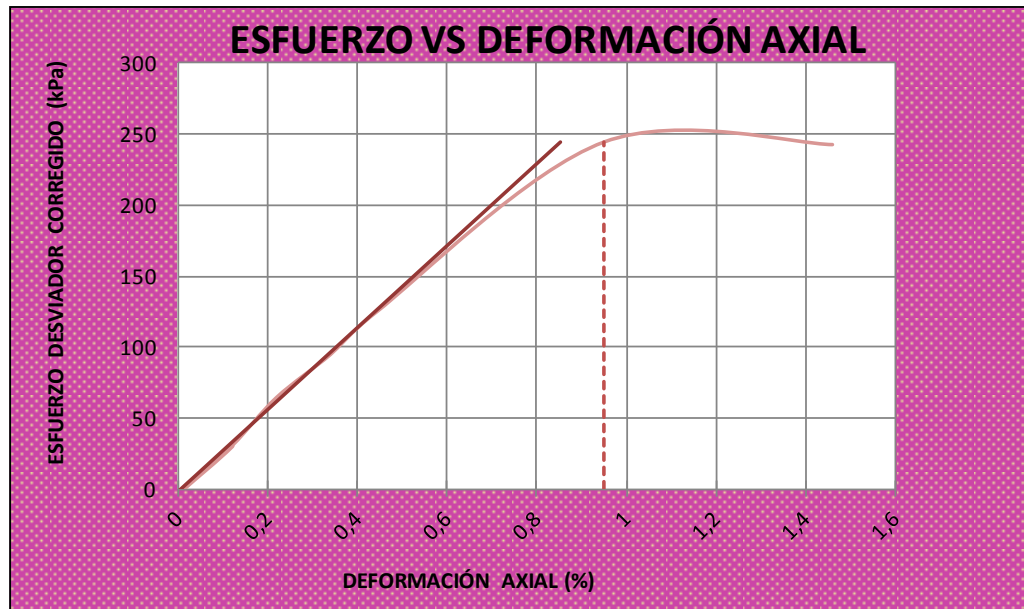
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 6 - A

Denominación original Muestra#: 300026 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	244,40	53,00	297,40	175,20	122,20

H _{PROMEDIO}	140,70 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5170,07 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,80 KN/m ³
γ _{SECA}	13,15 KN/m ³
P _{MUESTRA}	920,22 g
n Porosidad	47,92 %
GS	2,52
H%	35,40 %
A _{Grado Aireación}	2,80 %

E
[MPa]
28,87

ϵ
[m/m]
0,0095

S
[%]
97,20

e
Relación vacíos
0,92

ϕ
[°]
27,87

C
[KPa]
46,46

Elaboración Propia

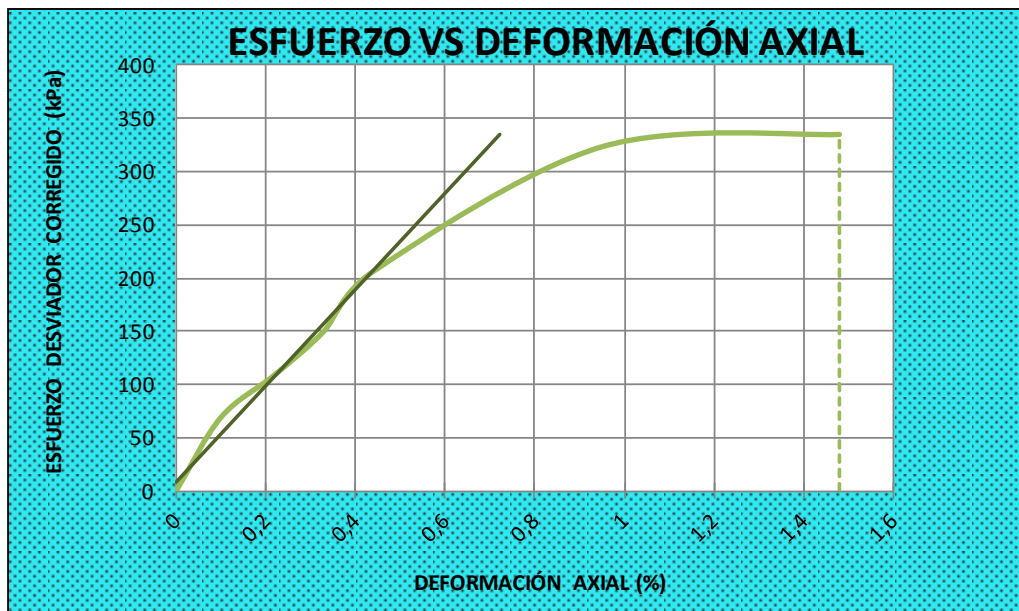
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 6 - B

Denominación original Muestra#: 300026 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	334,80	100,30	435,10	267,70	167,40

H _{PROMEDIO}	140,70 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5170,07 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,80 KN/m ³
γ _{SECA}	13,15 KN/m ³
P _{MUESTRA}	920,22 g
n Porosidad	47,92 %
GS	2,52
H%	35,40 %
A _{Grado Aireación}	2,80 %

E
[MPa]
45,24

ϵ
[m/m]
0,0148

S
[%]
97,20

e
Relación vacíos
0,92

ϕ
[°]
27,87

C
[KPa]
46,46

Elaboración Propia

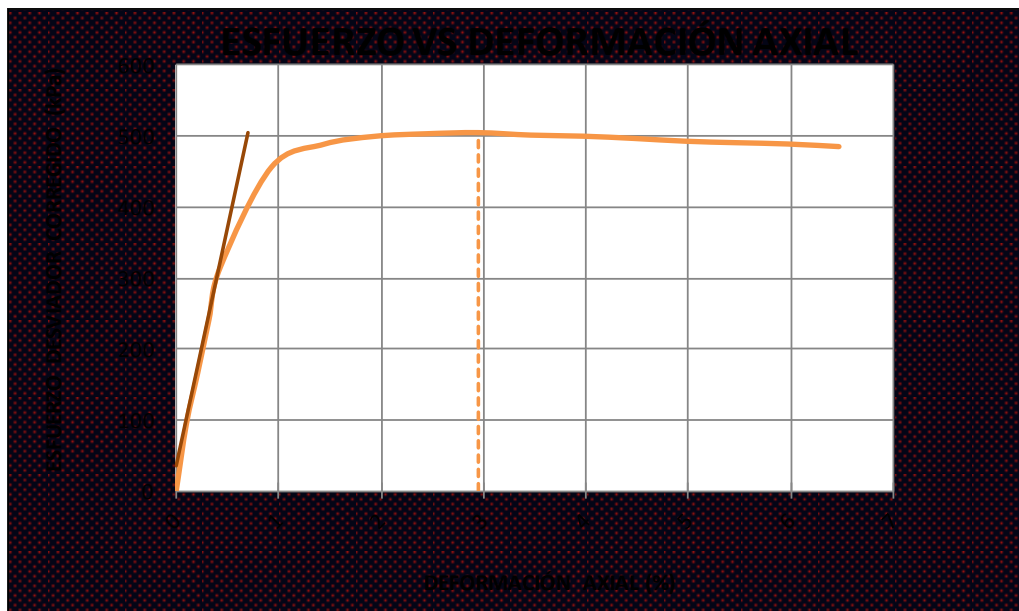
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 6 - C

Denominación original Muestra#: 300026 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	504,90	200,50	705,40	452,95	252,45

H _{PROMEDIO}	140,70 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5170,07 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,80 KN/m ³
γ _{SECA}	13,15 KN/m ³
P _{MUESTRA}	920,22 g
n Porosidad	47,92 %
GS	2,52
H%	35,40 %
A _{Grado Aireación}	2,80 %

E
[MPa]
66,99

ϵ
[m/m]
0,0295

S
[%]
97,20

e
Relación vacíos
0,92

φ
[°]
27,87

C
[KPa]
46,46

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

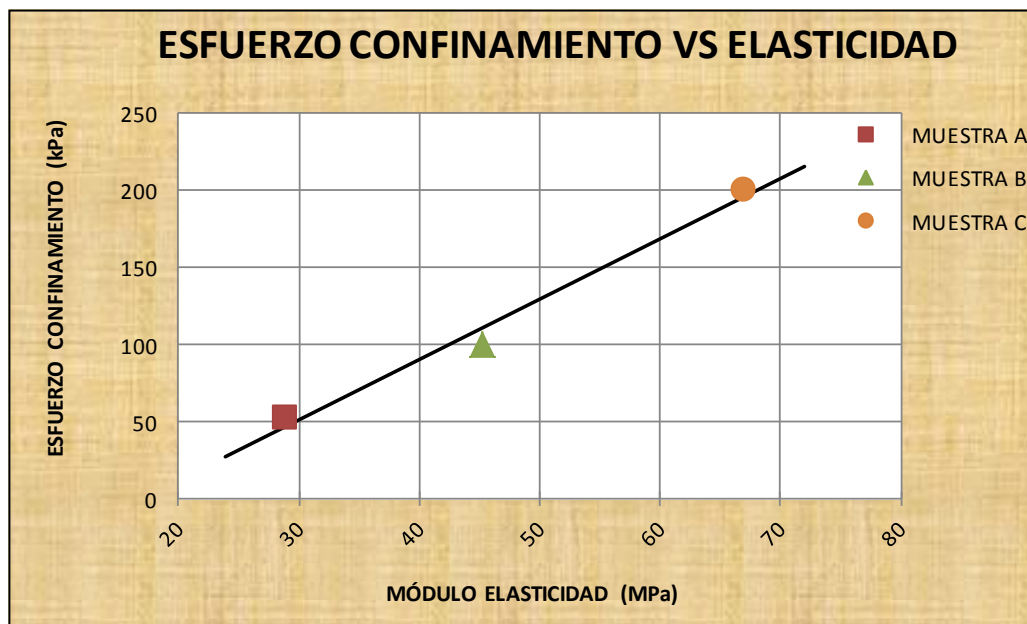
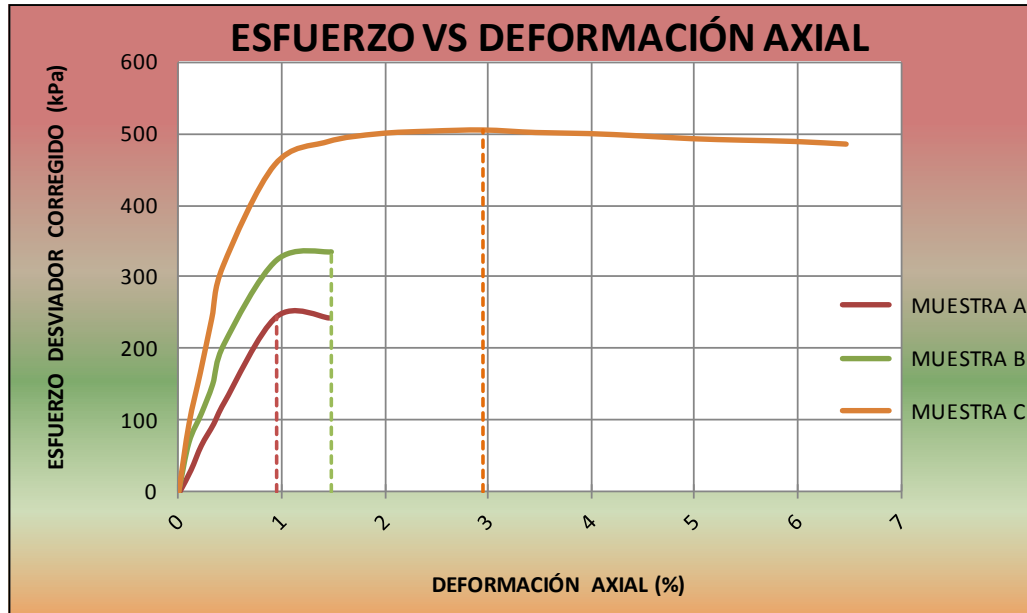
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 6

Denominación original Muestra#: 300026

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$3,909 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-65,94 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 6

Denominación original Muestra#: 300026

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENOSO CON POMEZ RAICILLAS COLOR CAFE OSCURO*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	244,40	53,00	297,40	175,20	122,20
B	334,80	100,30	435,10	267,70	167,40
C	504,90	200,50	705,40	452,95	252,45

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

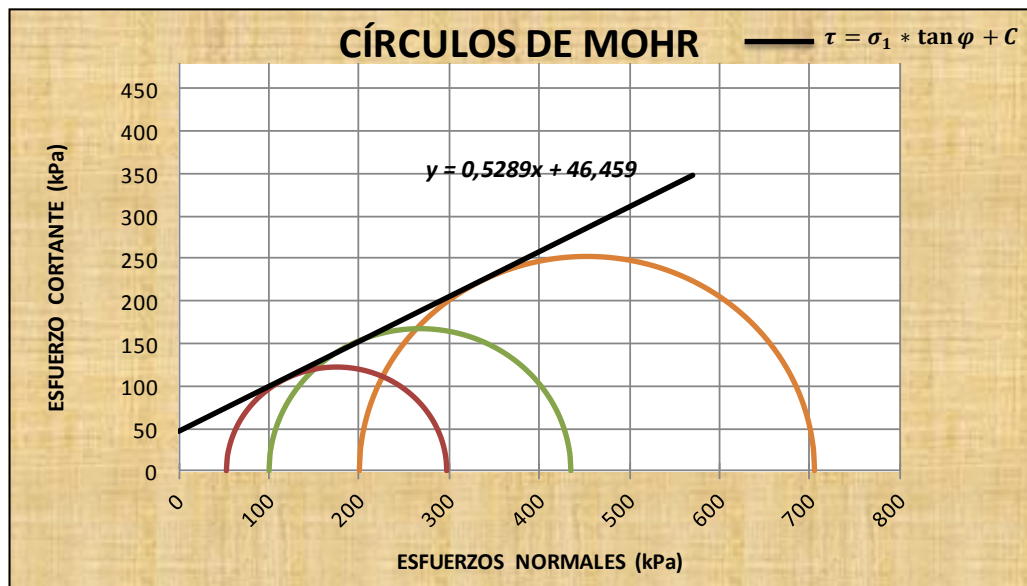
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 41,069

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4675

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9998

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 46,459

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 27.87°



Elaboración Propia

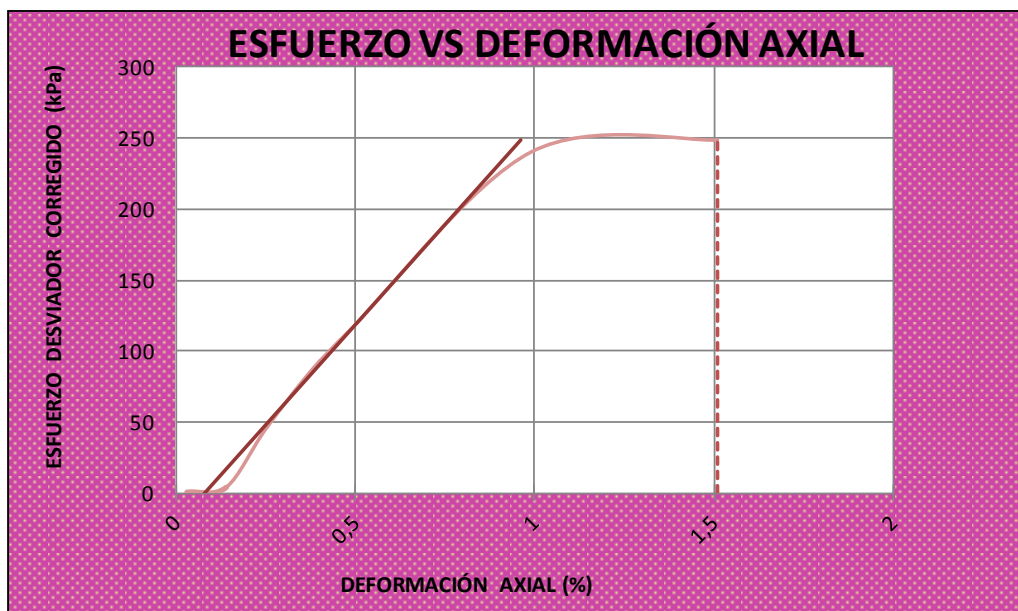
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 7 - A

Denominación original Muestra#: 301327 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	248,70	50,30	299,00	174,65	124,35

H _{PROMEDIO}	141,20 mm
D _{PROMEDIO}	67,30 mm
A _{PROMEDIO}	3557,30 mm ²
V _{PROMEDIO}	5022,90 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,81 KN/m ³
P _{MUESTRA}	851,64 g
n Porosidad	53,92 %
GS	2,55
H%	44,00 %
A _{Grado Aireación}	3,80 %

E
[MPa]
28,23

ϵ
[m/m]
0,0151

S
[%]
96,20

e
Relación vacíos
1,17

φ
[°]
25,82

C
[KPa]
53,91

Elaboración Propia

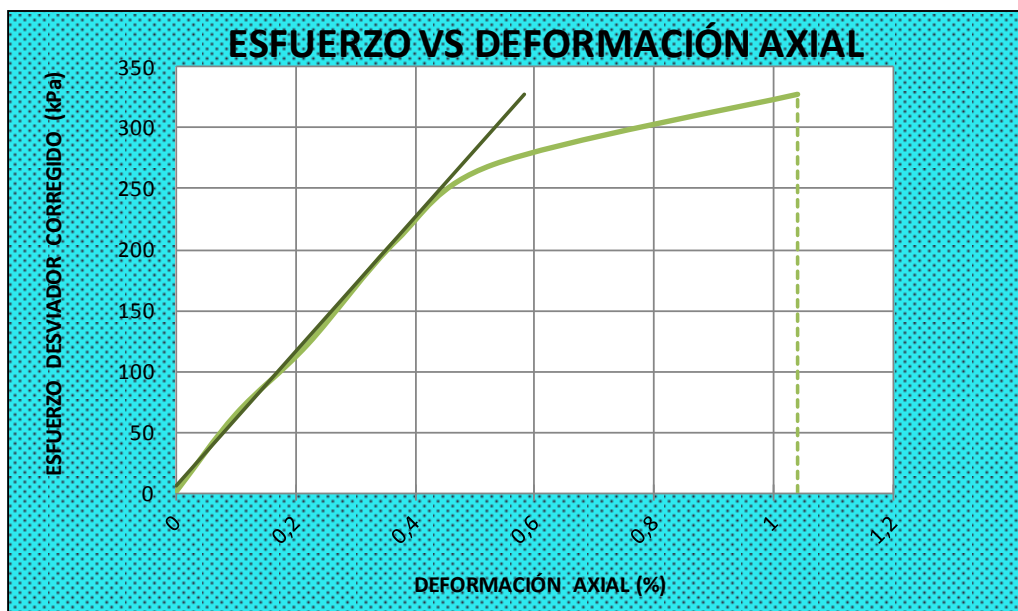
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 7 - B

Denominación original Muestra#: 301327 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	327,80	100,10	427,90	264,00	163,90

H _{PROMEDIO}	141,20 mm
D _{PROMEDIO}	67,30 mm
A _{PROMEDIO}	3557,30 mm ²
V _{PROMEDIO}	5022,90 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,81 KN/m ³
P _{MUESTRA}	851,64 g
n Porosidad	53,92 %
GS	2,55
H%	44,00 %
A _{Grado Aireación}	3,80 %

E
[MPa]
55,25

ϵ
[m/m]
0,0104

S
[%]
96,20

e
Relación vacíos
1,17

φ
[°]
25,82

C
[KPa]
53,91

Elaboración Propia

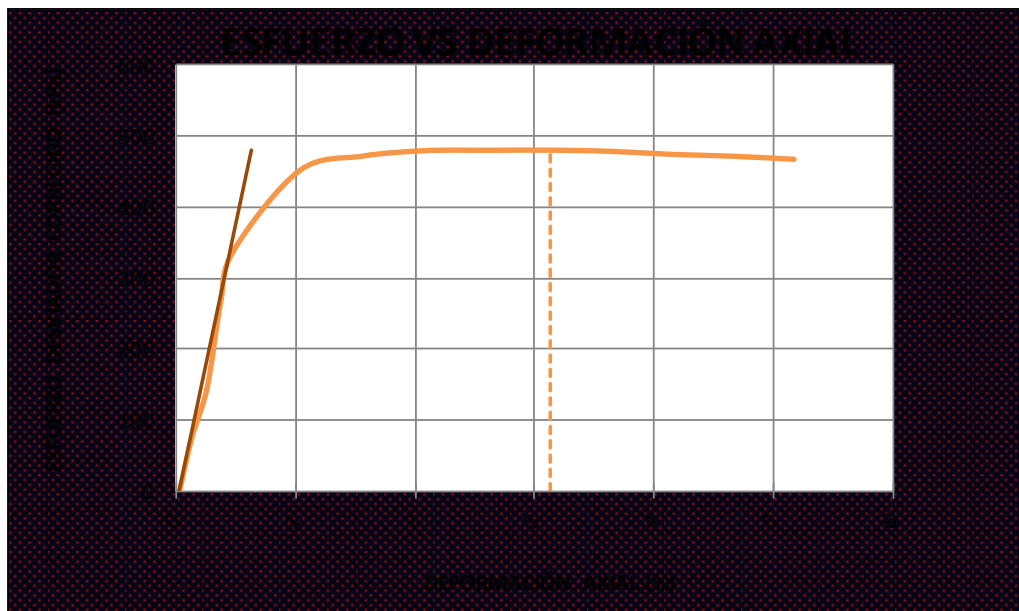
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 2 - 7 - C

Denominación original Muestra#: 301327 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONF. DESV.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	480,20	200,00	680,20	440,10	240,10

H _{PROMEDIO}	141,20 mm
D _{PROMEDIO}	67,30 mm
A _{PROMEDIO}	3557,30 mm ²
V _{PROMEDIO}	5022,90 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,81 KN/m ³
P _{MUESTRA}	851,64 g
n Porosidad	53,92 %
GS	2,55
H%	44,00 %
A _{Grado Aireación}	3,80 %

E
[MPa]
79,45

ϵ
[m/m]
0,0313

S
[%]
96,20

e
Relación vacíos
1,17

ϕ
[°]
25,82

C
[KPa]
53,91

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

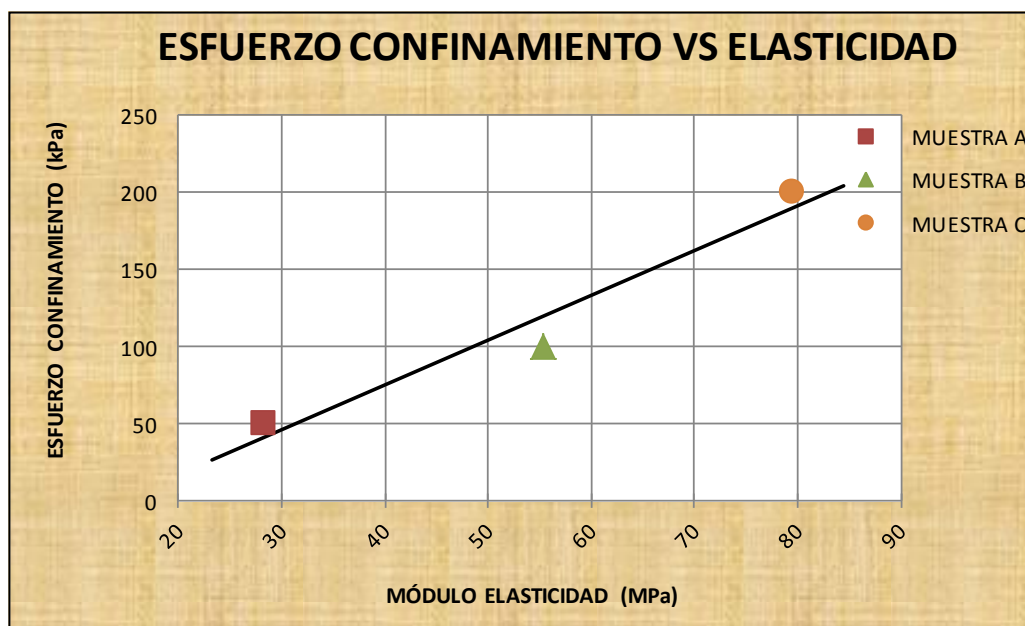
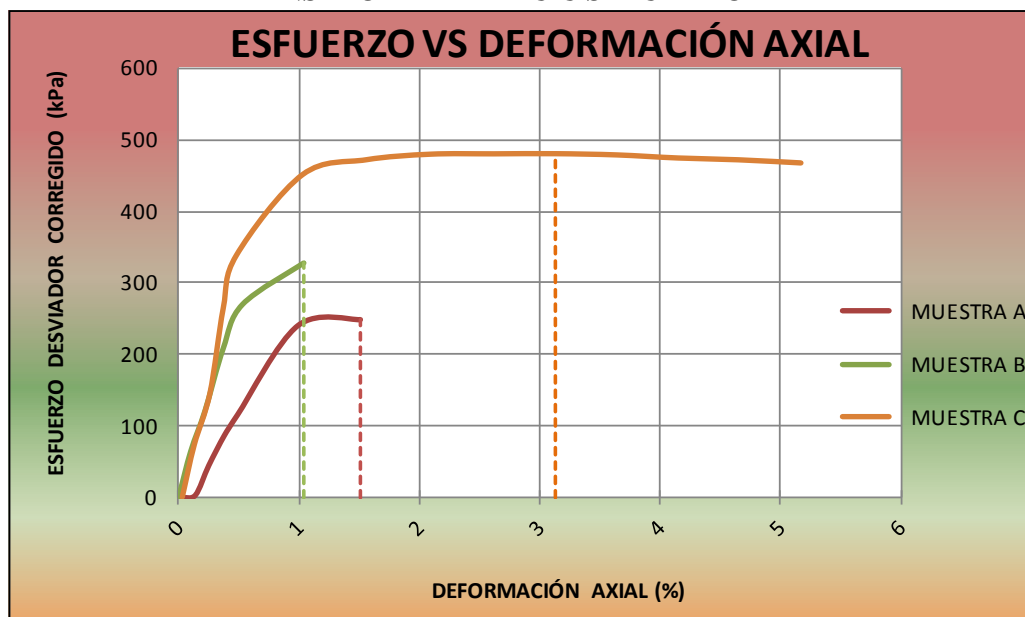
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 7

Denominación original Muestra#: 301327

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$2,902 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-40,80 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 2 - 7

Denominación original Muestra#: 301327

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	248,70	50,30	299,00	174,65	124,35
B	327,80	100,10	427,90	264,00	163,90
C	480,20	200,00	680,20	440,10	240,10

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

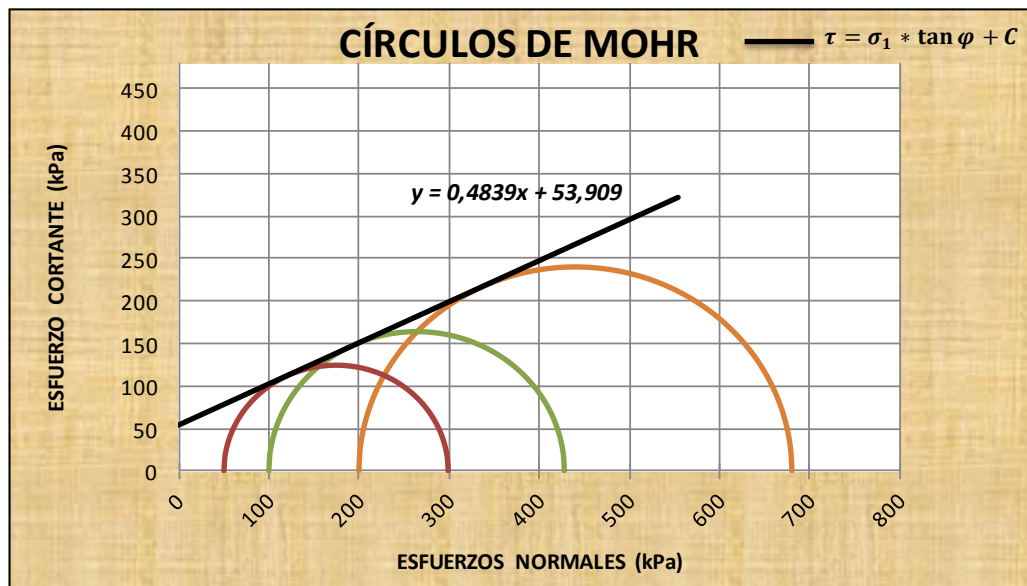
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 48,526

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4356

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 1,0000

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 53,909

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 25.82°



Elaboración Propia

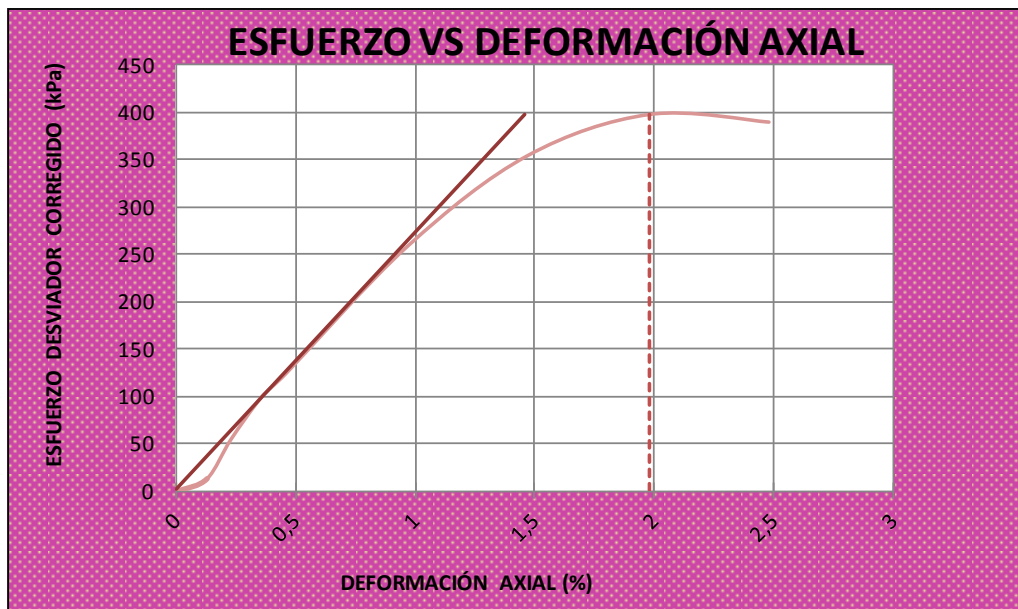
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 303831 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	397,90	50,30	448,20	249,25	198,95

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,81 mm
A _{PROMEDIO}	3718,72 mm ²
V _{PROMEDIO}	5321,48 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,48 KN/m ³
P _{MUESTRA}	955,30 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,53
H%	33,50 %
A _{Grado Aireación}	3,90 %

E
[MPa]
27,17

ϵ
[m/m]
0,0198

S
[%]
96,10

e
Relación vacíos
0,88

ϕ
[°]
29,49

C
[KPa]
88,04

Elaboración Propia

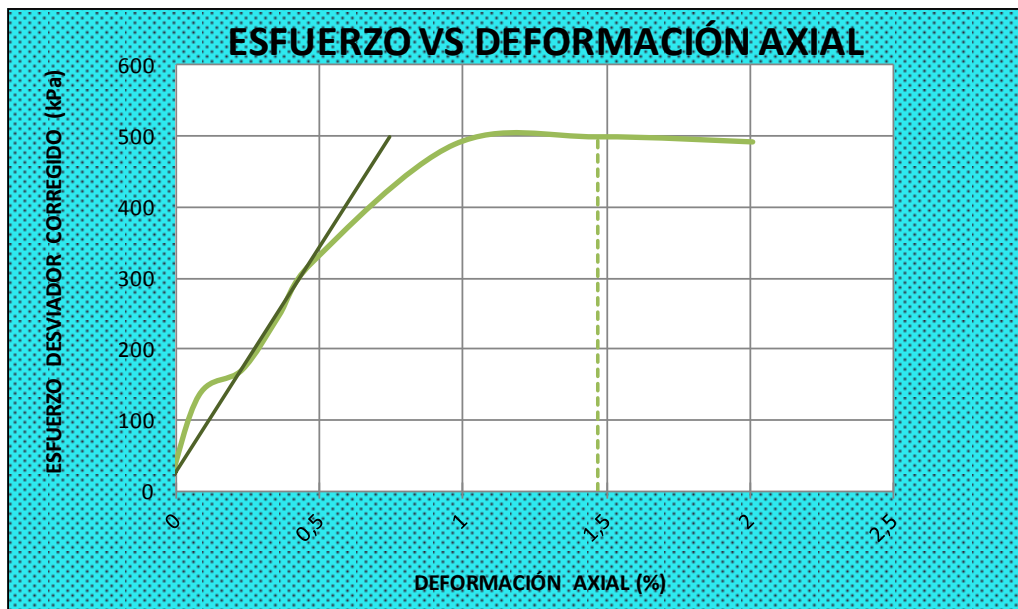
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 303831 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	499,00	100,50	599,50	350,00	249,50

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5212,23 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,30 KN/m ³
γ _{SECA}	13,71 KN/m ³
P _{MUESTRA}	955,30 g
n Porosidad	45,65 %
GS	2,53
H%	33,50 %
A _{Grado Aireación}	0,00 %

E
[MPa]
63,39

ϵ
[m/m]
0,0147

S
[%]
100,00

e
Relación vacíos
0,84

ϕ
[°]
29,49

C
[KPa]
88,04

Elaboración Propia

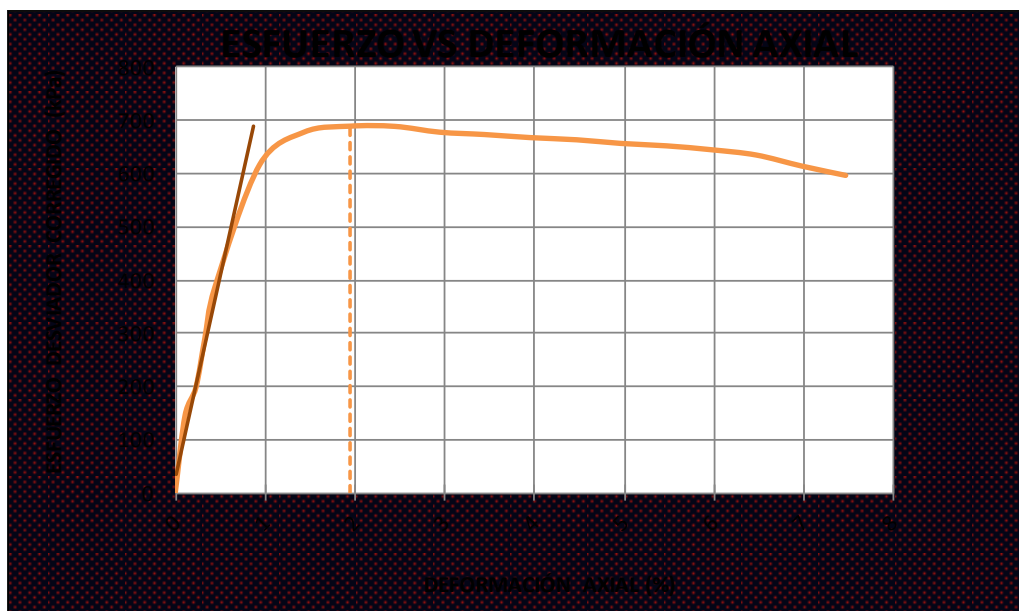
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 303831 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	689,10	200,10	889,20	544,65	344,55

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5212,23 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,30 KN/m ³
γ _{SECA}	13,71 KN/m ³
P _{MUESTRA}	955,30 g
n Porosidad	45,65 %
GS	2,53
H%	33,50 %
A _{Grado Aireación}	0,00 %

E
[MPa]
75,86

ϵ
[m/m]
0,0194

S
[%]
100,00

e
Relación vacíos
0,84

φ
[°]
29,49

C
[KPa]
88,04

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

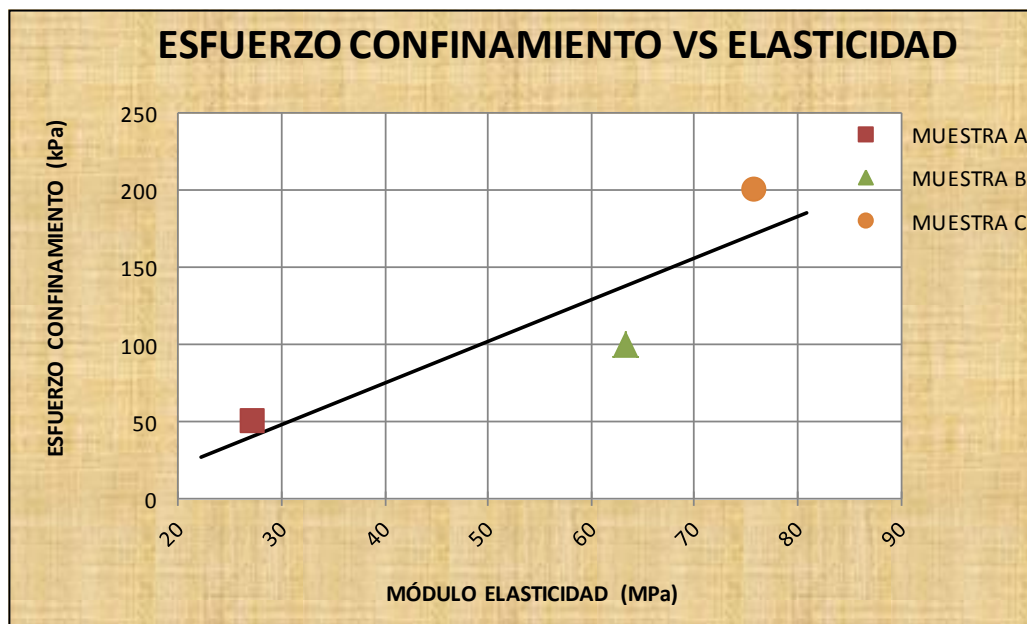
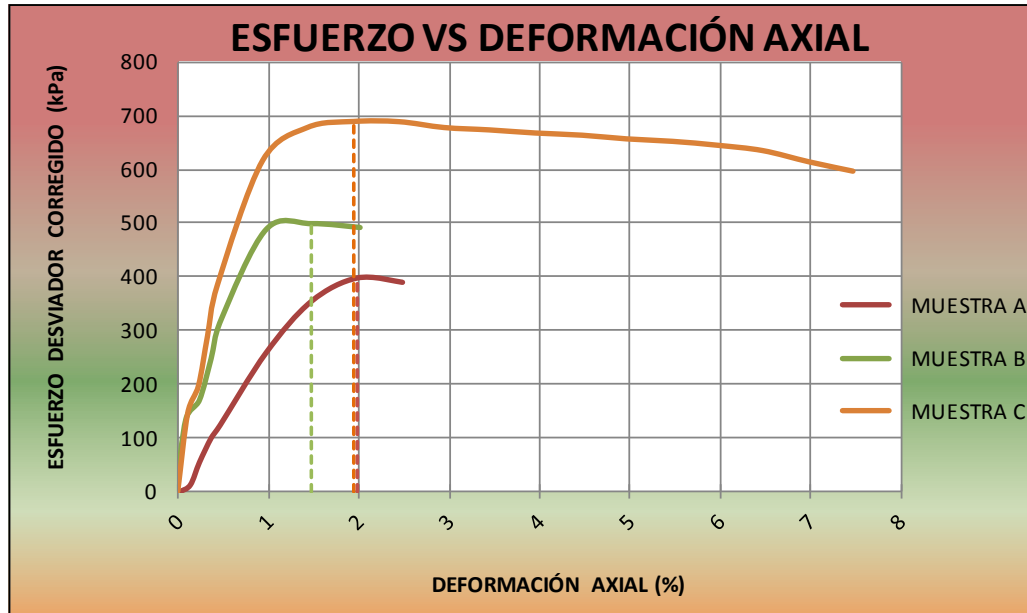
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 3 - 1

Denominación original Muestra#: 303831

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$2,697 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-32,66 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 3 - 1

Denominación original Muestra#: 303831

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: ARENA LIMOSA CON POMEZ CAFE CLARA



Clasif. SUCS
SM

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	397,90	50,30	448,20	249,25	198,95
B	499,00	100,50	599,50	350,00	249,50
C	689,10	200,10	889,20	544,65	344,55

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

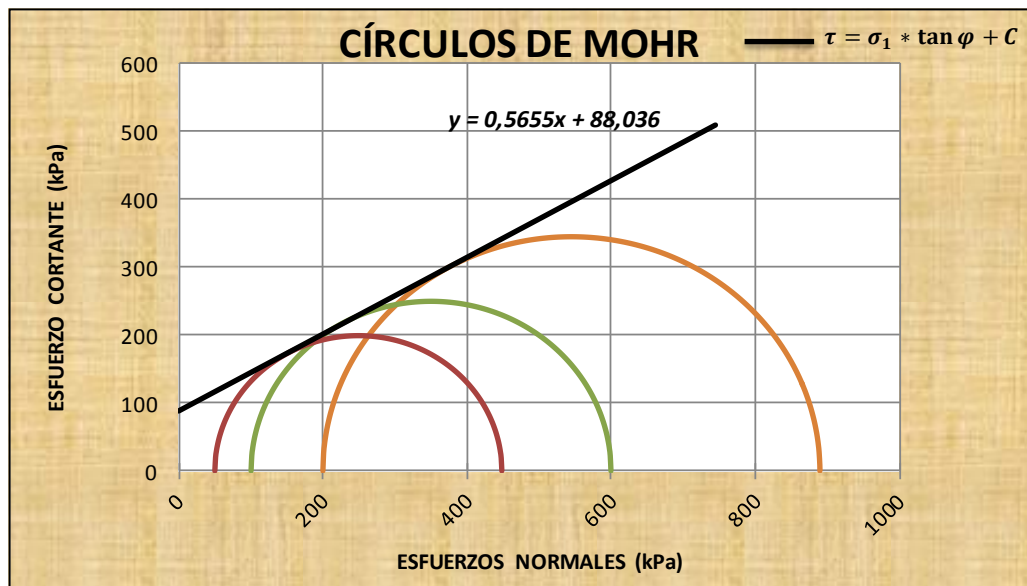
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 76,630

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4923

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 1,0000

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 88,036

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 29.49°



Elaboración Propia

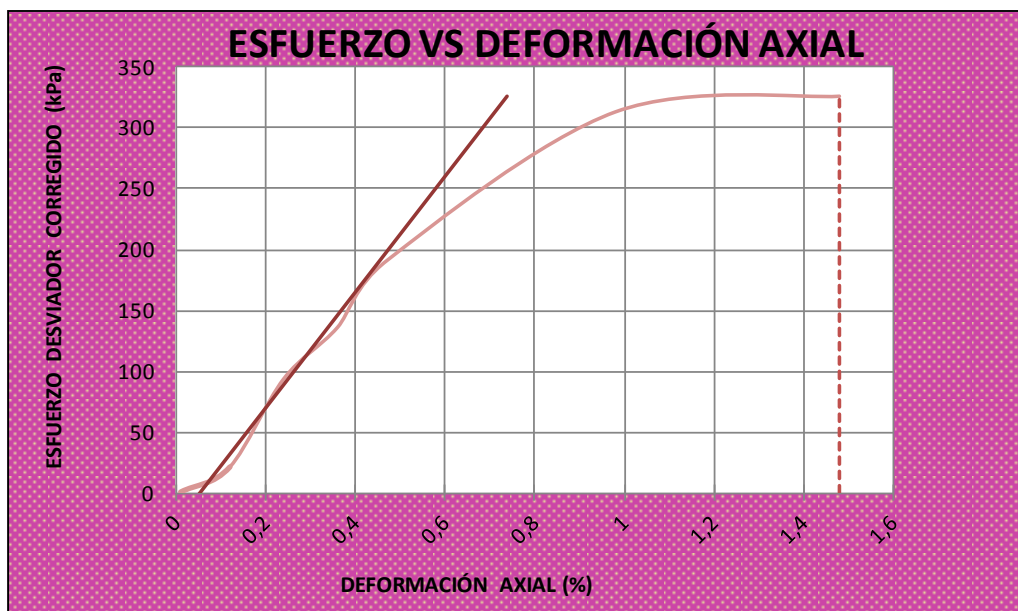
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 303832 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	326,10	50,00	376,10	213,05	163,05

H _{PROMEDIO}	140,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,37 mm
A _{PROMEDIO}	3671,31 mm ²
V _{PROMEDIO}	5143,51 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,30 KN/m ³
γ _{SECA}	11,30 KN/m ³
P _{MUESTRA}	837,80 g
n Porosidad	55,95 %
GS	2,56
H%	44,30 %
A _{Grado Aireación}	10,60 %

E
[MPa]
47,59

ϵ
[m/m]
0,0148

S
[%]
89,40

e
Relación vacíos
1,27

φ
[°]
25,18

C
[KPa]
80,91

Elaboración Propia

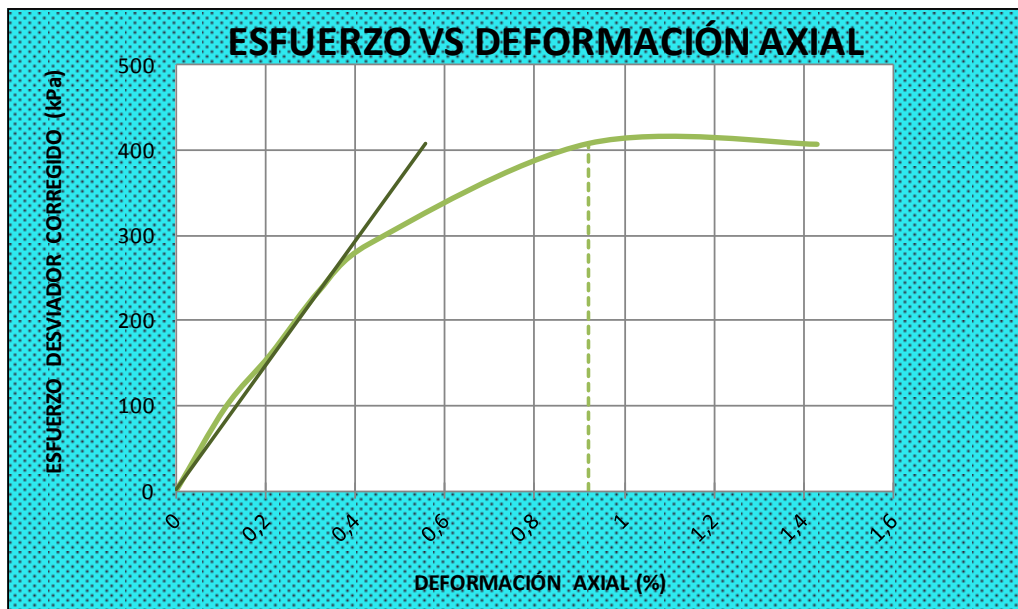
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 303832 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	408,00	100,50	508,50	304,50	204,00

H _{PROMEDIO}	140,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,37 mm
A _{PROMEDIO}	3671,31 mm ²
V _{PROMEDIO}	5143,51 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,30 KN/m ³
γ _{SECA}	11,30 KN/m ³
P _{MUESTRA}	837,80 g
n Porosidad	55,95 %
GS	2,56
H%	44,30 %
A _{Grado Aireación}	10,60 %

E
[MPa]
73,02

ϵ
[m/m]
0,0092

S
[%]
89,40

e
Relación vacíos
1,27

ϕ
[°]
25,18

C
[KPa]
80,91

Elaboración Propia

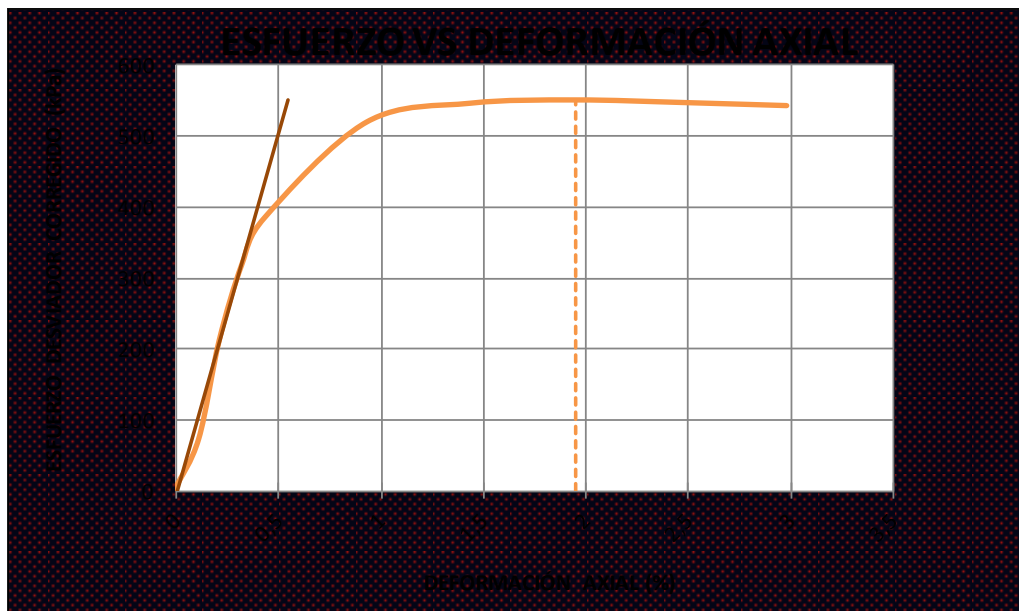
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 303832 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	551,00	201,00	752,00	476,50	275,50

H _{PROMEDIO}	140,10 mm
D _{PROMEDIO}	68,37 mm
A _{PROMEDIO}	3671,31 mm ²
V _{PROMEDIO}	5143,51 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,30 KN/m ³
γ _{SECA}	11,30 KN/m ³
P _{MUESTRA}	837,80 g
n Porosidad	55,95 %
GS	2,56
H%	44,30 %
A _{Grado Aireación}	10,60 %

E
[MPa]
102,03

ϵ
[m/m]
0,0195

S
[%]
89,40

e
Relación vacíos
1,27

φ
[°]
25,18

C
[KPa]
80,91

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

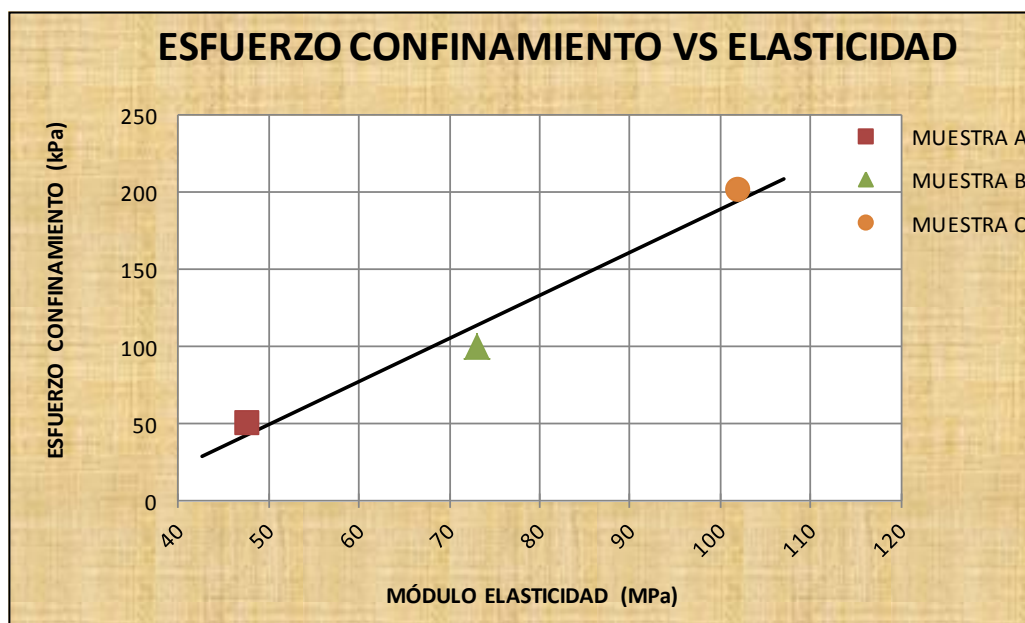
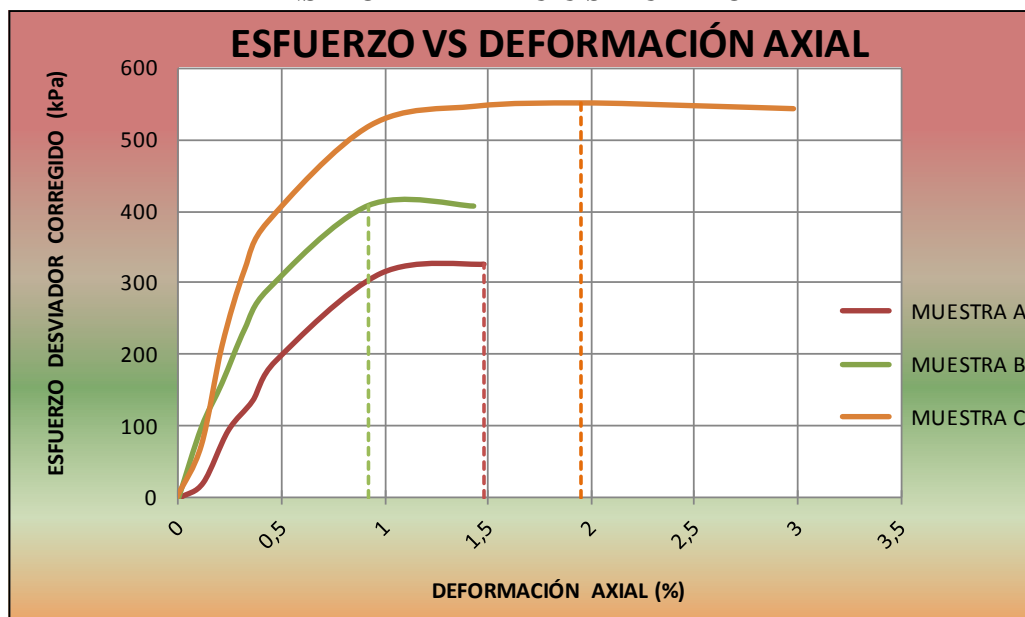
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 3 - 2

Denominación original Muestra#: 303832

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$2,790 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-89,88 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

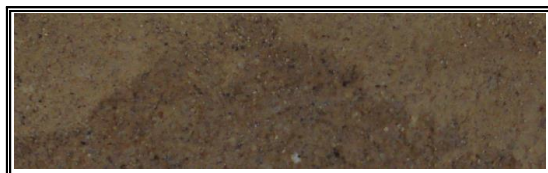
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 3 - 2

Denominación original Muestra#: 303832

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: ARENA LIMOSA CON POMEZ GRUMOS ENDURECIDOS
COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
SM

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	326,10	50,00	376,10	213,05	163,05
B	408,00	100,50	508,50	304,50	204,00
C	551,00	201,00	752,00	476,50	275,50

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

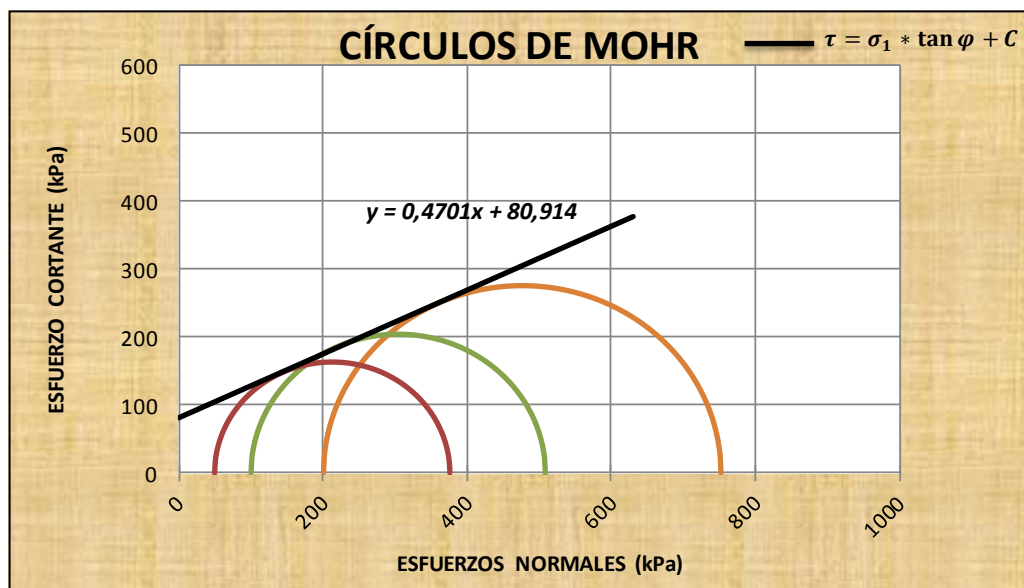
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 73,227

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4254

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9996

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 80,914

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 25.18°



Elaboración Propia

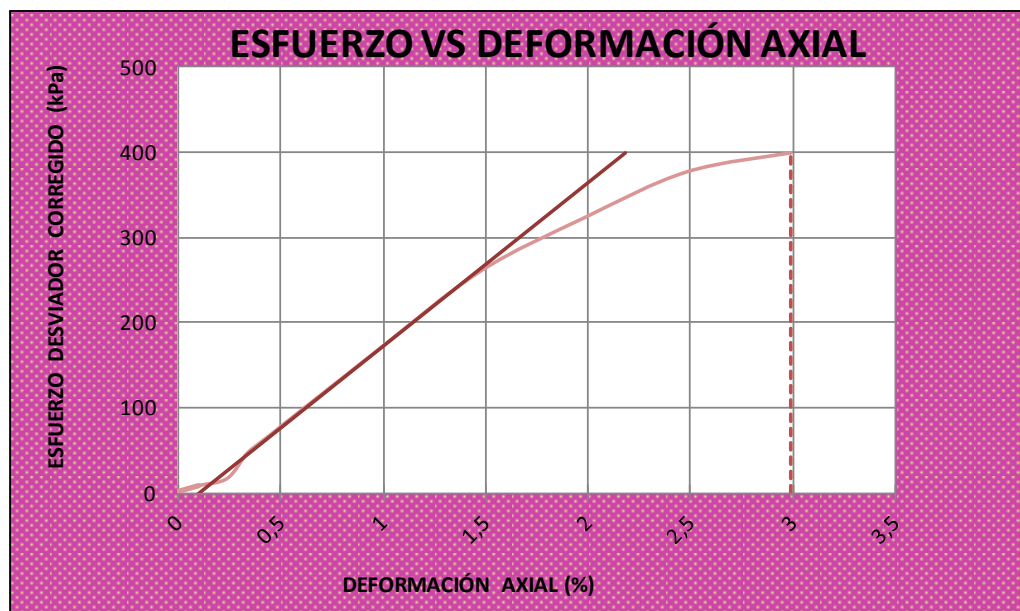
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 3 - A

Denominación original Muestra#: 303833 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	399,30	50,10	449,40	249,75	199,65

H _{PROMEDIO}	136,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,27 mm
A _{PROMEDIO}	3660,58 mm ²
V _{PROMEDIO}	4985,71 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	10,38 KN/m ³
P _{MUESTRA}	801,48 g
n Porosidad	60,00 %
GS	2,59
H%	55,10 %
A Grado Aireación	4,80 %

E
[MPa]
19,21

ϵ
[m/m]
0,0299

S
[%]
95,20

e
Relación vacíos
1,50

ϕ
[°]
31,54

C
[KPa]
82,08

Elaboración Propia

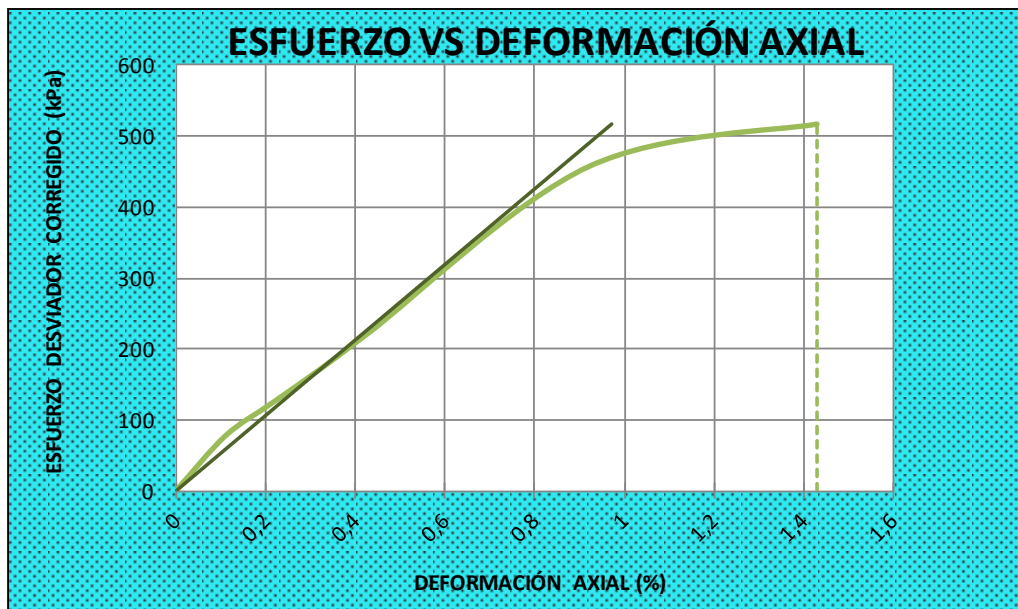
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 3 - B

Denominación original Muestra#: 303833 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	517,50	99,40	616,90	358,15	258,75

H _{PROMEDIO}	136,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,27 mm
A _{PROMEDIO}	3660,58 mm ²
V _{PROMEDIO}	4985,71 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	10,38 KN/m ³
P _{MUESTRA}	801,48 g
n Porosidad	60,00 %
GS	2,56
H%	55,10 %
A _{Grado Aireación}	4,80 %

E
[MPa]
53,20

ϵ
[m/m]
0,0157

S
[%]
95,20

e
Relación vacíos
1,50

φ
[°]
31,54

C
[KPa]
82,08

Elaboración Propia

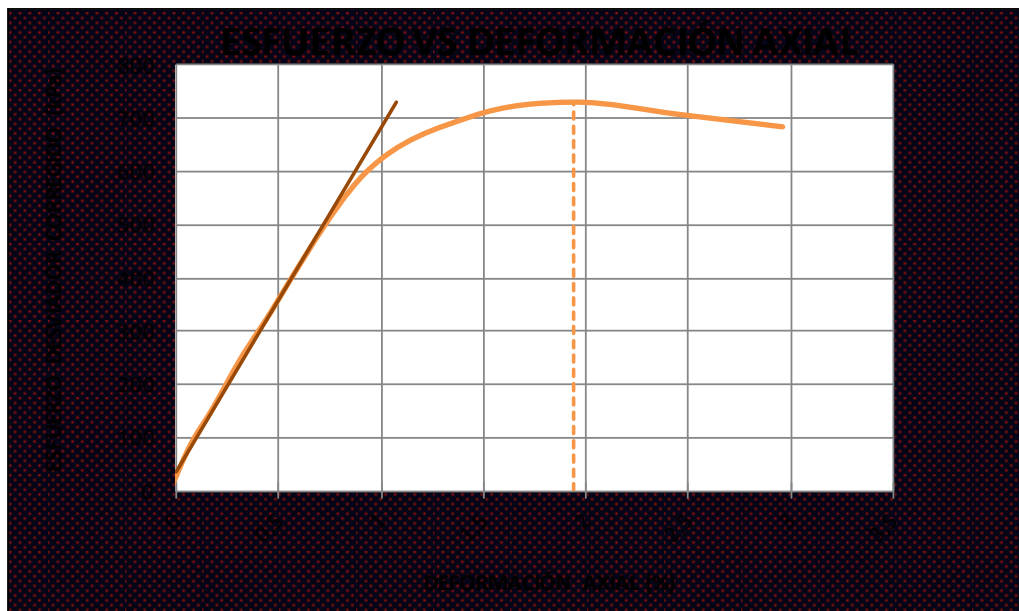
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 3 - 3 - C

Denominación original Muestra#: 303833 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	730,50	200,20	930,70	565,45	365,25

H _{PROMEDIO}	136,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,27 mm
A _{PROMEDIO}	3660,58 mm ²
V _{PROMEDIO}	4985,71 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,10 KN/m ³
γ _{SECA}	10,38 KN/m ³
P _{MUESTRA}	801,48 g
n Porosidad	60,00 %
GS	2,59
H%	55,10 %
A _{Grado Aireación}	4,80 %

E
[MPa]
64,65

ϵ
[m/m]
0,0194

S
[%]
95,20

e
Relación vacíos
1,50

φ
[°]
31,54

C
[KPa]
82,08

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

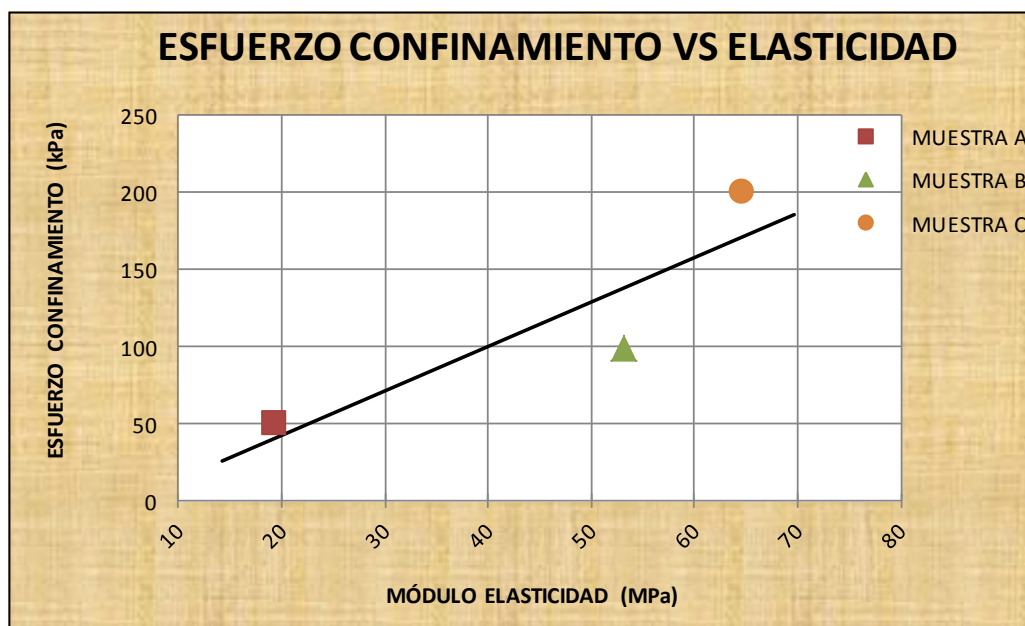
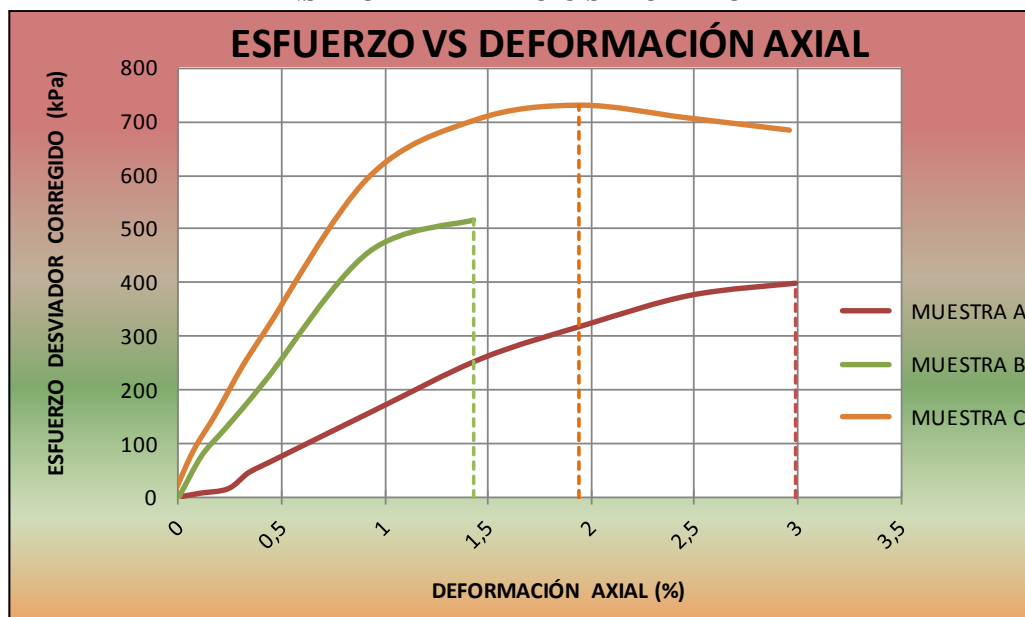
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 3 - 3

Denominación original Muestra#: 303833

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$2,880 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-15,01 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 3 - 3

Denominación original Muestra#: 303833

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: ARENA LIMOSA CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
SM

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	399,30	50,10	449,40	249,75	199,65
B	517,50	99,40	616,90	358,15	258,75
C	730,50	200,20	930,70	565,45	365,25

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

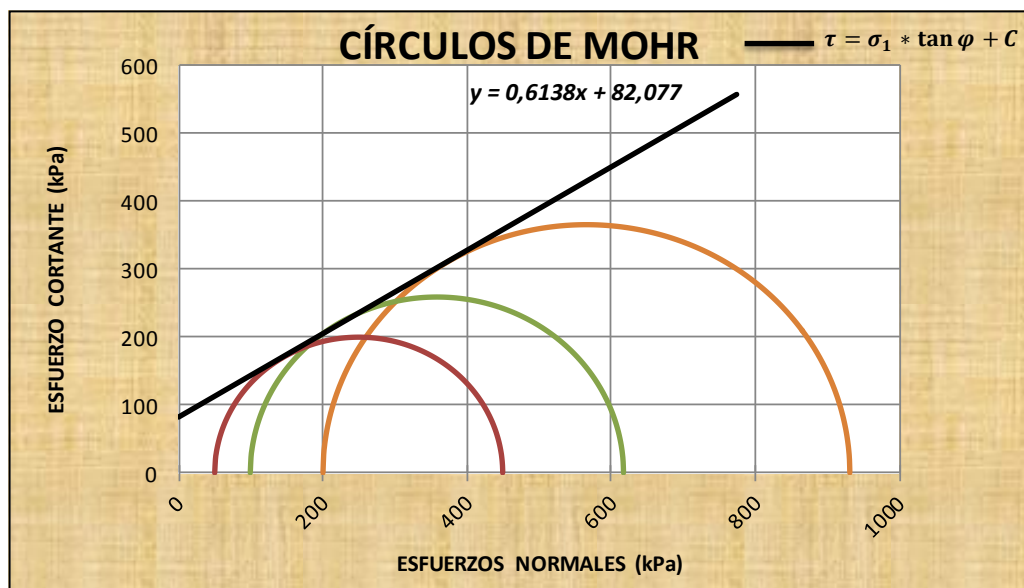
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 69,951

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5231

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9998

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 82,077

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 31.54°



Elaboración Propia

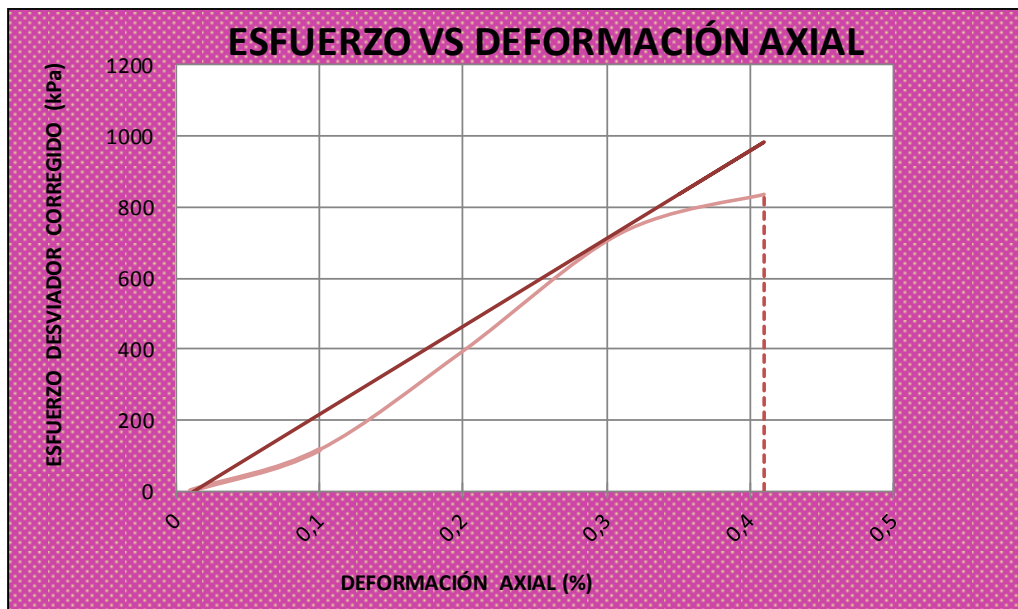
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 1 - A

Denominación original Muestra#: LFM441 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	835,80	50,00	885,80	467,90	417,90

H _{PROMEDIO}	143,50 mm
D _{PROMEDIO}	68,70 mm
A _{PROMEDIO}	3706,84 mm ²
V _{PROMEDIO}	5319,31 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,60 KN/m ³
γ _{SECA}	12,08 KN/m ³
P _{MUESTRA}	882,17 g
n Porosidad	50,25 %
GS	2,42
H%	37,40 %
A _{Grado Aireación}	9,90 %

E
[MPa]
247,57

ϵ
[m/m]
0,0041

S
[%]
90,10

e
Relación vacíos
1,01

ϕ
[°]
32,68

C
[KPa]
194,87

Elaboración Propia

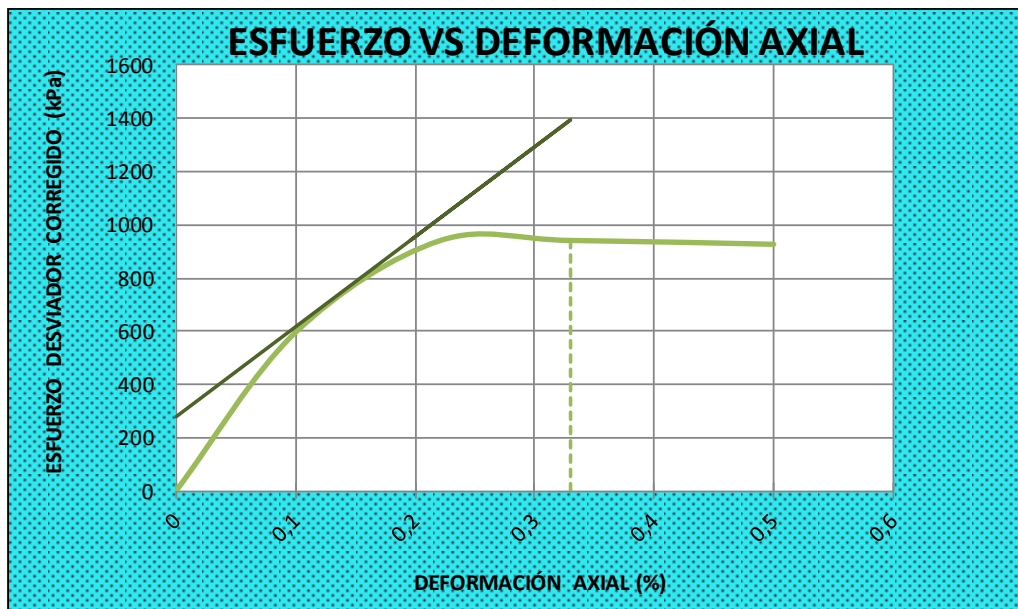
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 1 - B

Denominación original Muestra#: LFM441 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	941,10	100,40	1041,50	570,95	470,55

H _{PROMEDIO}	143,50 mm
D _{PROMEDIO}	68,70 mm
A _{PROMEDIO}	3706,84 mm ²
V _{PROMEDIO}	5319,31 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,60 KN/m ³
γ _{SECA}	12,08 KN/m ³
P _{MUESTRA}	882,17 g
n Porosidad	50,25 %
GS	2,42
H%	37,40 %
A _{Grado Aireación}	9,90 %

E
[MPa]
338,19

ϵ
[m/m]
0,0033

S
[%]
90,10

e
Relación vacíos
1,01

ϕ
[°]
32,68

C
[KPa]
194,87

Elaboración Propia

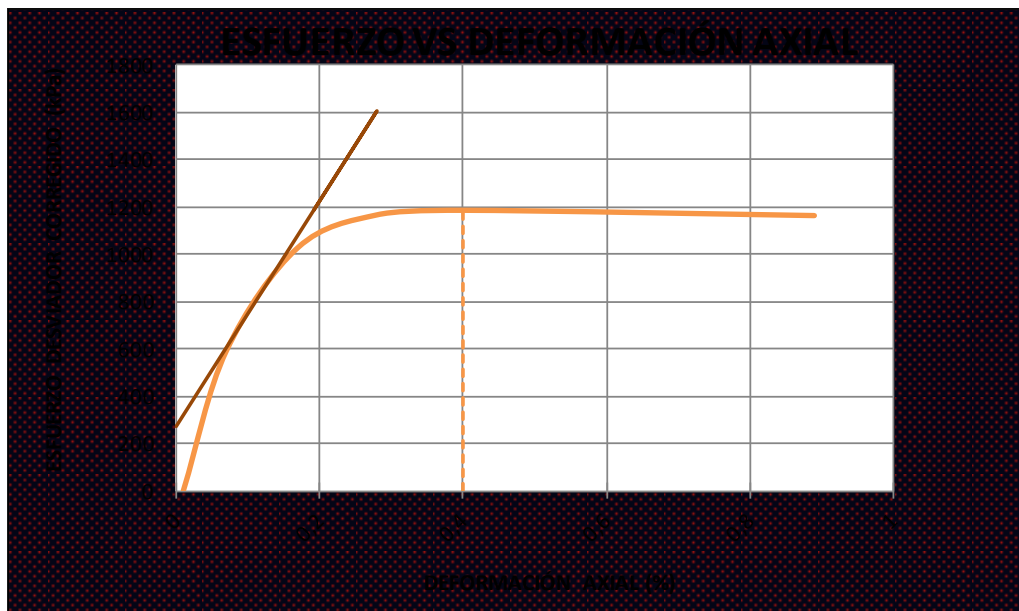
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 1 - C

Denominación original Muestra#: LFM441 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	1186,30	200,50	1386,80	793,65	593,15

H _{PROMEDIO}	143,50 mm
D _{PROMEDIO}	68,70 mm
A _{PROMEDIO}	3706,84 mm ²
V _{PROMEDIO}	5319,31 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,60 KN/m ³
γ _{SECA}	12,08 KN/m ³
P _{MUESTRA}	882,17 g
n Porosidad	50,25 %
GS	2,42
H%	37,40 %
A _{Grado Aireación}	9,90 %

E
[MPa]
476,45

ϵ
[m/m]
0,0040

S
[%]
90,10

e
Relación vacíos
1,01

ϕ
[°]
32,68

C
[KPa]
194,87

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

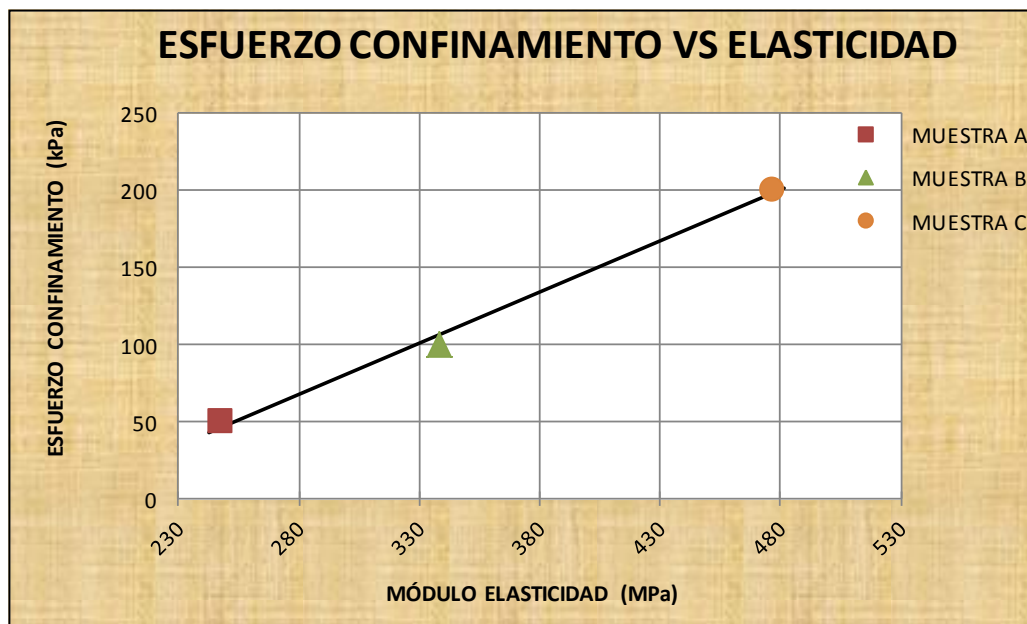
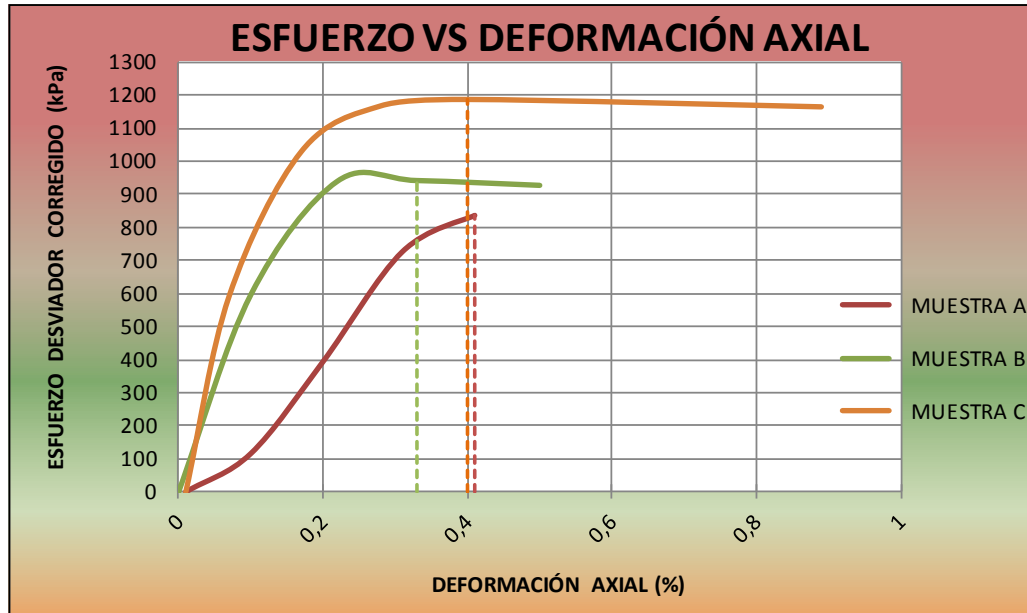
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 4 - 1

Denominación original Muestra#: LFM441

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-117,80 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 4 - 1

Denominación original Muestra#: LFM441

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: ARENA LIMOSA LIGERAMENTE HUMEDA COLOR HABANA



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	835,80	50,00	885,80	467,90	417,90
B	941,10	100,40	1041,50	570,95	470,55
C	1186,30	200,50	1386,80	793,65	593,15

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

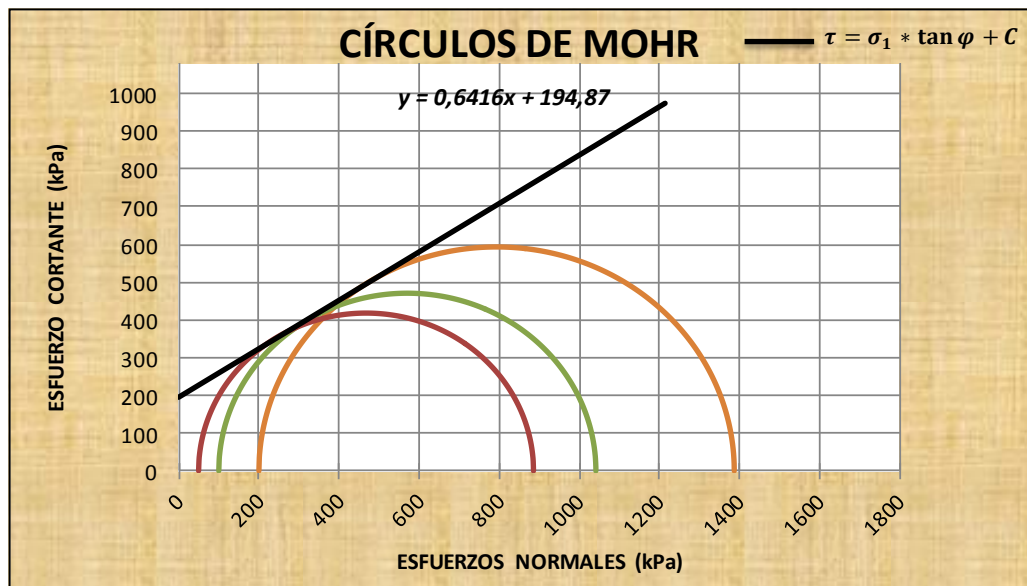
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 164,019

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5400

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9997

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 194,874

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 32.68°



Elaboración Propia

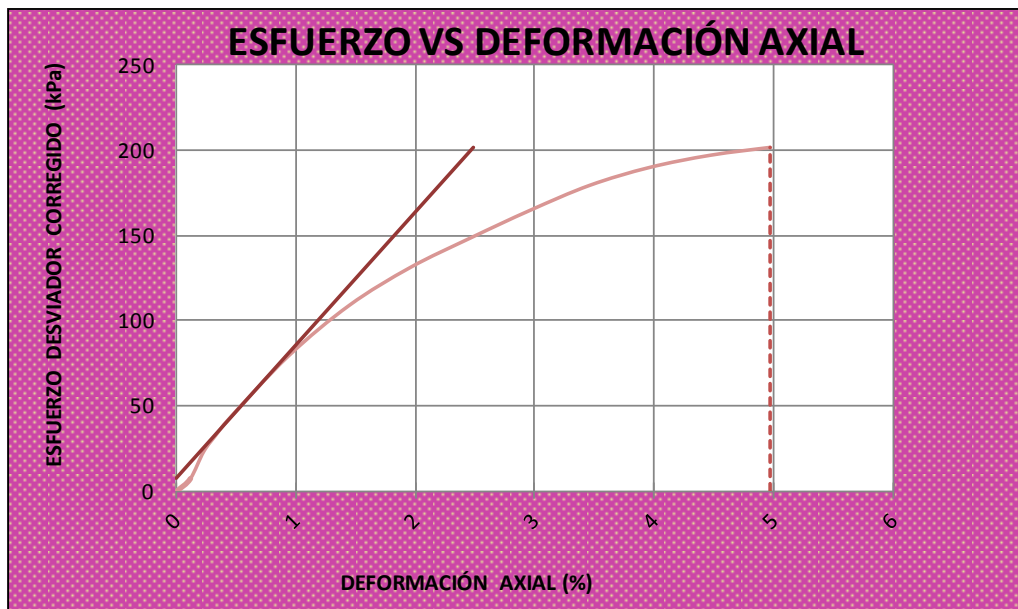
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 2 - A

Denominación original Muestra#: LFP342 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	201,70	50,60	252,30	151,45	100,85

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	60,10 mm
A _{PROMEDIO}	2836,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	4059,56 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,50 KN/m ³
γ _{SECA}	13,21 KN/m ³
P _{MUESTRA}	751,35 g
n Porosidad	53,05 %
GS	2,81
H%	40,00 %
A _{Grado Aireación}	0,20 %

E
[MPa]
7,81

ϵ
[m/m]
0,0497

S
[%]
99,80

e
Relación vacíos
1,13

ϕ
[°]
-2,71

C
[KPa]
110,41

Elaboración Propia

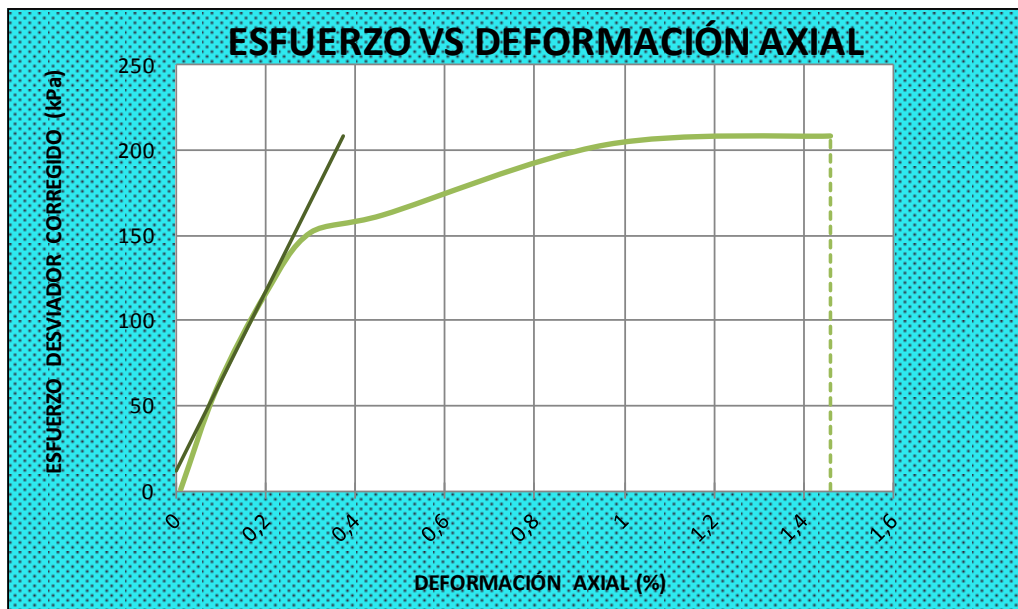
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 2 - B

Denominación original Muestra#: LFP342 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	208,50	100,50	309,00	204,75	104,25

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	60,10 mm
A _{PROMEDIO}	2836,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	4059,56 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,50 KN/m ³
γ _{SECA}	13,21 KN/m ³
P _{MUESTRA}	751,35 g
n Porosidad	53,05 %
GS	2,81
H%	40,00 %
A _{Grado Aireación}	0,20 %

E
[MPa]
52,75

ϵ
[m/m]
0,0146

S
[%]
99,80

e
Relación vacíos
1,13

φ
[°]
-2,71

C
[KPa]
110,41

Elaboración Propia

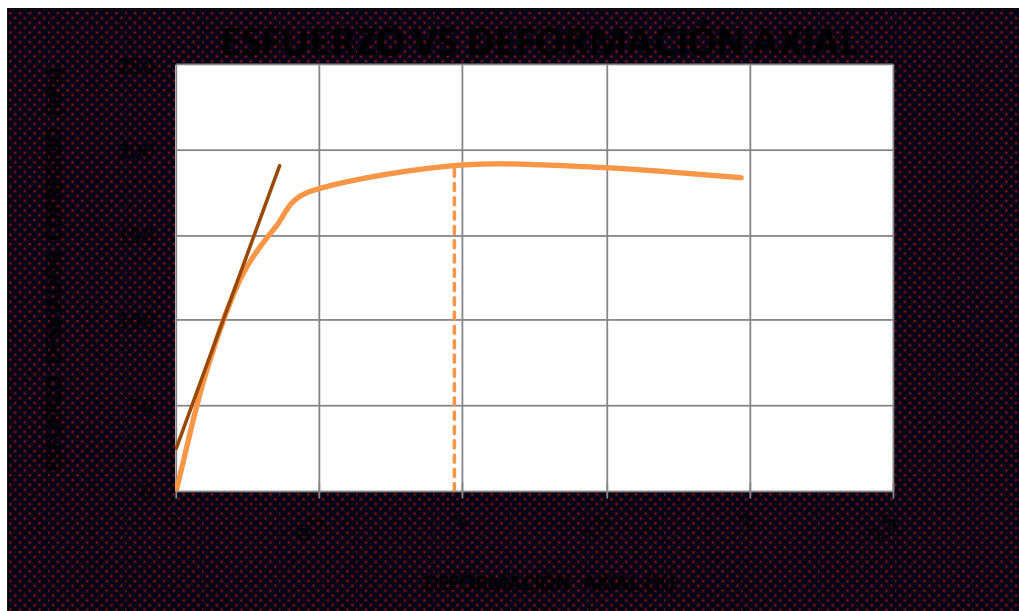
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 2 - C

Denominación original Muestra#: LFP342 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	190,00	200,10	390,10	295,10	95,00

H _{PROMEDIO}	143,10 mm
D _{PROMEDIO}	60,10 mm
A _{PROMEDIO}	2836,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	4059,56 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,50 KN/m ³
γ _{SECA}	13,21 KN/m ³
P _{MUESTRA}	751,35 g
n Porosidad	53,05 %
GS	2,81
H%	40,00 %
A _{Grado Aireación}	0,20 %

E
[MPa]
46,07

ϵ
[m/m]
0,0147

S
[%]
99,80

e
Relación vacíos
1,13

φ
[°]
-2,71

C
[KPa]
110,41

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

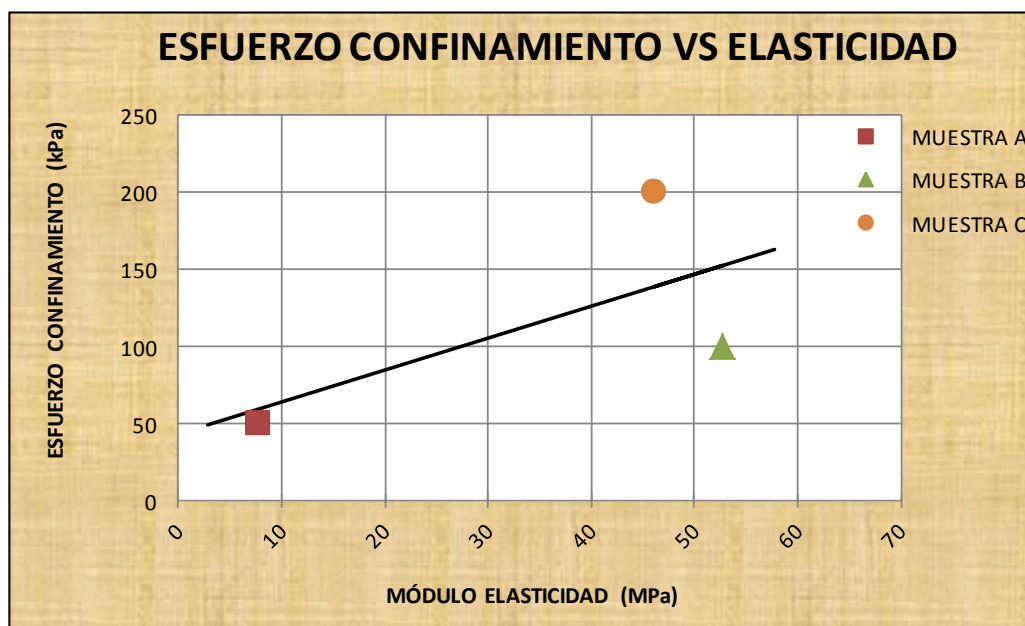
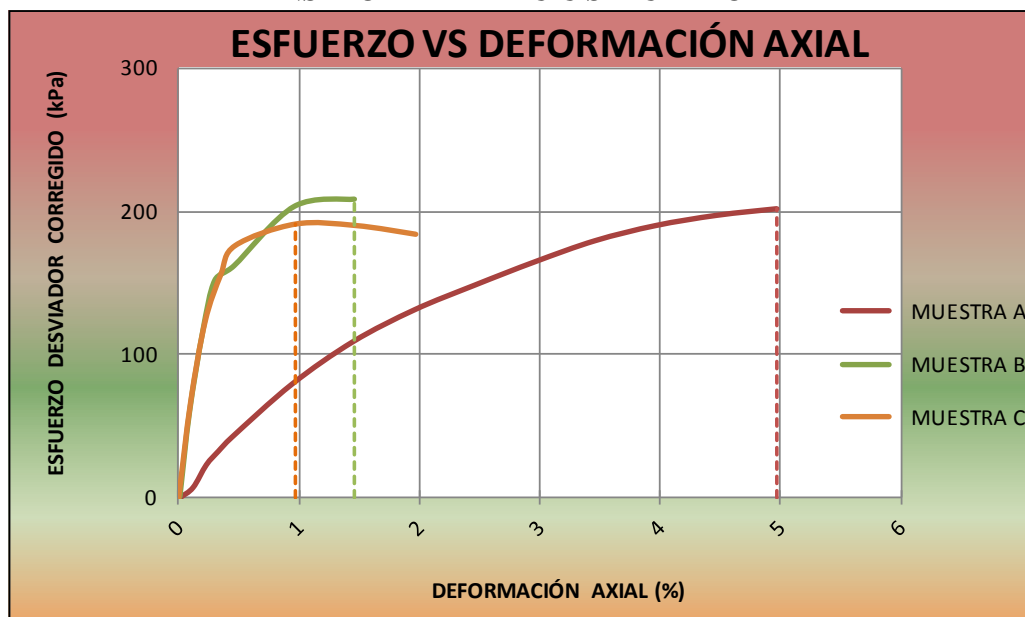
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 4 - 2

Denominación original Muestra#: LFP342

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$2,069 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$43,54 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 4 - 2

Denominación original Muestra#: LFP342

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO ALGO ARCILLOSO COLOR CAFE OSCURO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	201,70	50,60	252,30	151,45	100,85
B	208,50	100,50	309,00	204,75	104,25
C	190,00	200,10	390,10	295,10	95,00

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

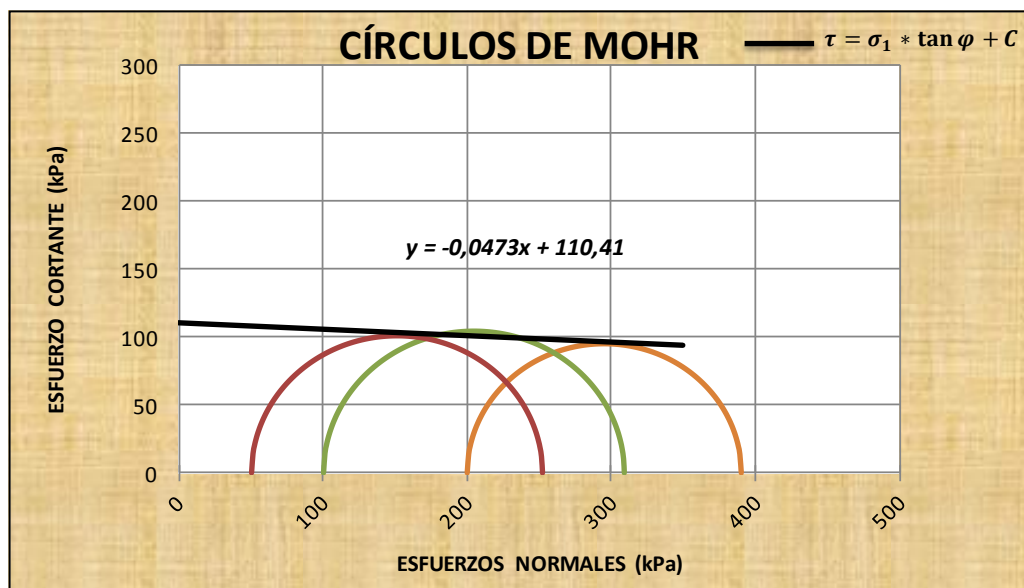
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 110,291

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) -0,0472

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,5377

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 110,414

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) -2.71°



Elaboración Propia

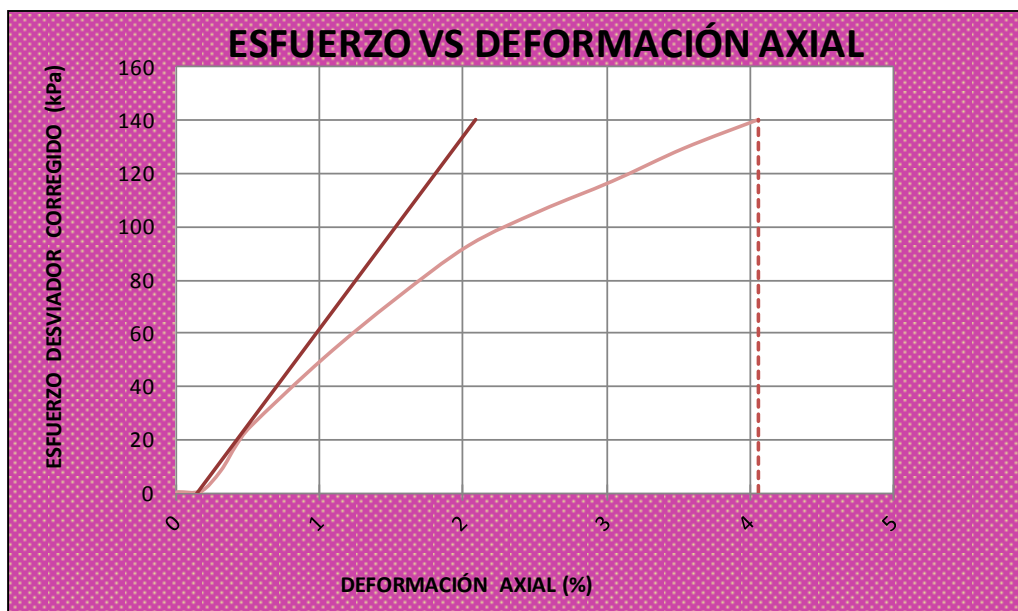
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 3 - A

Denominación original Muestra#: LFP943 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	140,20	49,90	190,10	120,00	70,10

H _{PROMEDIO}	140,10 mm
D _{PROMEDIO}	60,10 mm
A _{PROMEDIO}	2836,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	3974,45 mm ³
γ _{HÚMEDA}	11,50 KN/m ³
γ _{SECA}	7,76 KN/m ³
P _{MUESTRA}	458,25 g
n Porosidad	55,75 %
GS	2,60
H%	48,20 %
A Grado Aireación	0,10 %

E
[MPa]
7,23

ϵ
[m/m]
0,0406

S
[%]
99,90

e
Relación vacíos
1,26

ϕ
[°]
9,60

C
[KPa]
50,47

Elaboración Propia

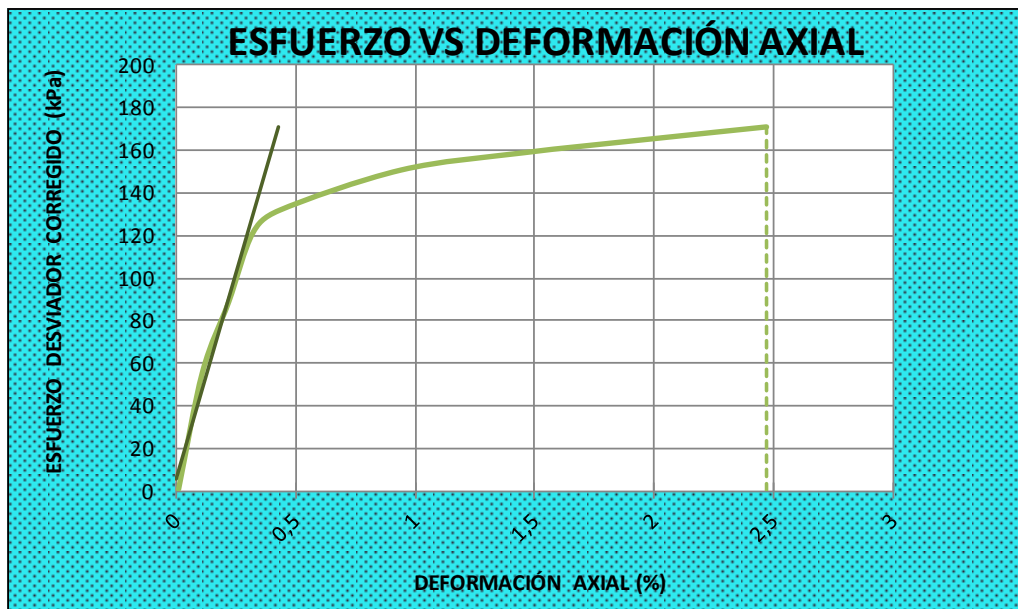
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 3 - B

Denominación original Muestra#: LFP943 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	158,80	101,10	259,90	180,50	79,40

H _{PROMEDIO}	140,10 mm
D _{PROMEDIO}	60,10 mm
A _{PROMEDIO}	2836,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	3974,45 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,10 KN/m ³
γ _{SECA}	11,54 KN/m ³
P _{MUESTRA}	679,22 g
n Porosidad	55,75 %
GS	2,60
H%	48,20 %
A _{Grado Aireación}	0,10 %

E
[MPa]
38,67

ϵ
[m/m]
0,0145

S
[%]
99,90

e
Relación vacíos
1,26

φ
[°]
9,60

C
[KPa]
50,47

Elaboración Propia

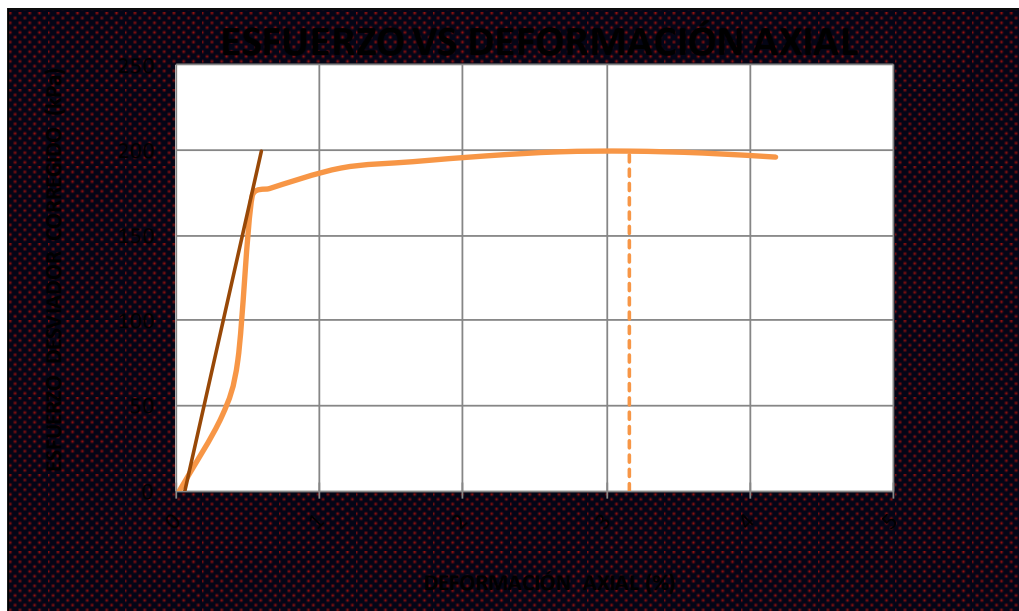
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 4 - 3 - C

Denominación original Muestra#: LFP943 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	199,50	198,90	398,40	298,65	99,75

H _{PROMEDIO}	140,10 mm
D _{PROMEDIO}	60,10 mm
A _{PROMEDIO}	2836,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	3974,45 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,10 KN/m ³
γ _{SECA}	11,54 KN/m ³
P _{MUESTRA}	679,22 g
n Porosidad	55,75 %
GS	2,60
H%	48,20 %
A _{Grado Aireación}	0,10 %

E
[MPa]
37,41

ϵ
[m/m]
0,0316

S
[%]
99,90

e
Relación vacíos
1,26

ϕ
[°]
9,60

C
[KPa]
50,47

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

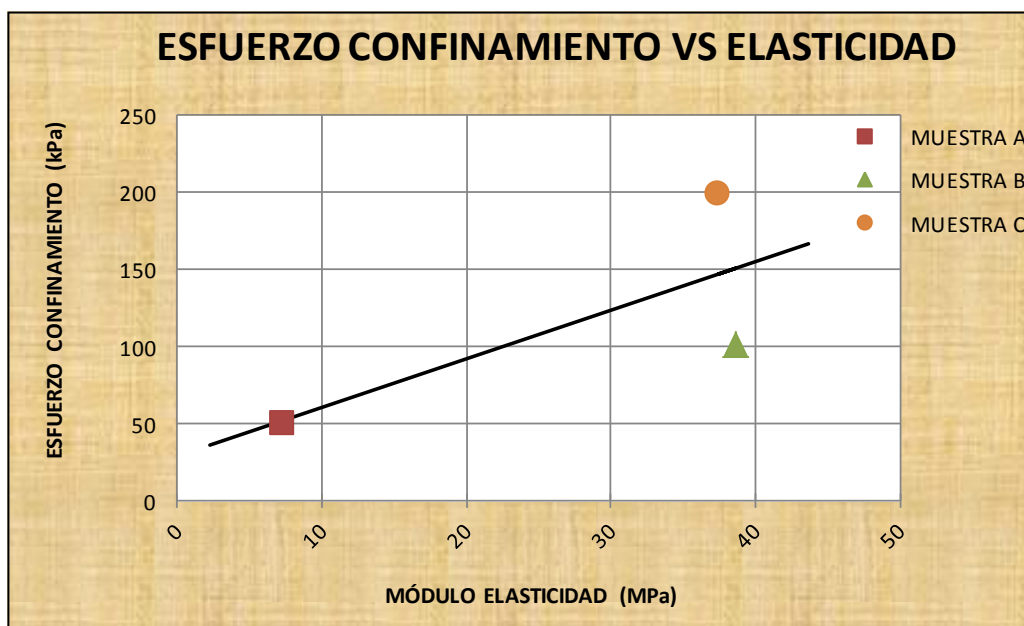
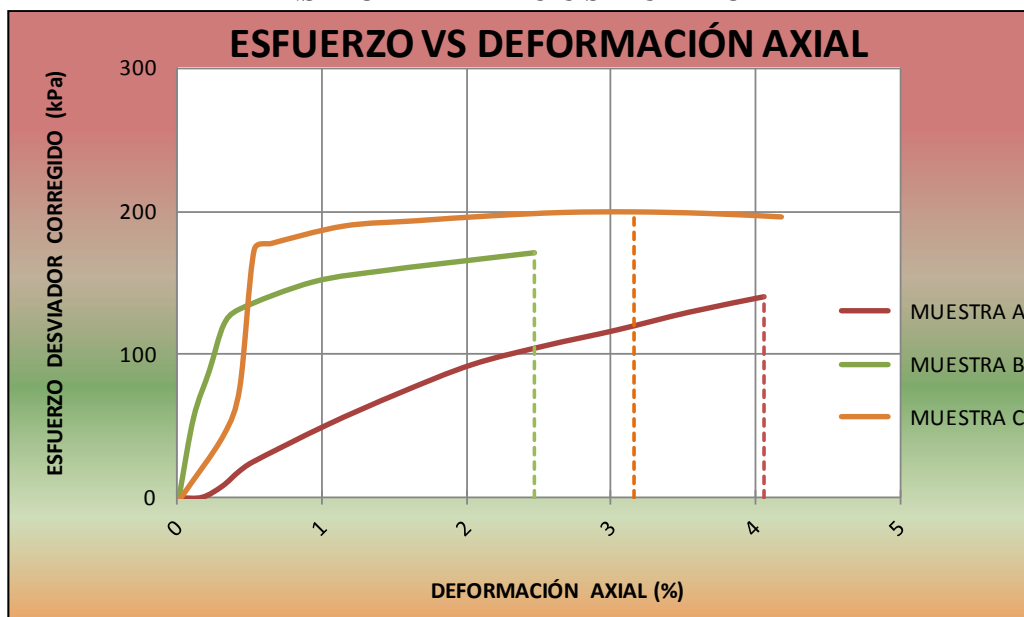
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 4 - 3

Denominación original Muestra#: LFP943

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	3,148	$\cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	29,22	$\cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 4 - 3

Denominación original Muestra#: LFP943

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENO ARCILLOSO HUMEDO CON
OXIDACIONES COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
SM

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	140,20	49,90	190,10	120,00	70,10
B	158,80	101,10	259,90	180,50	79,40
C	199,50	198,90	398,40	298,65	99,75

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

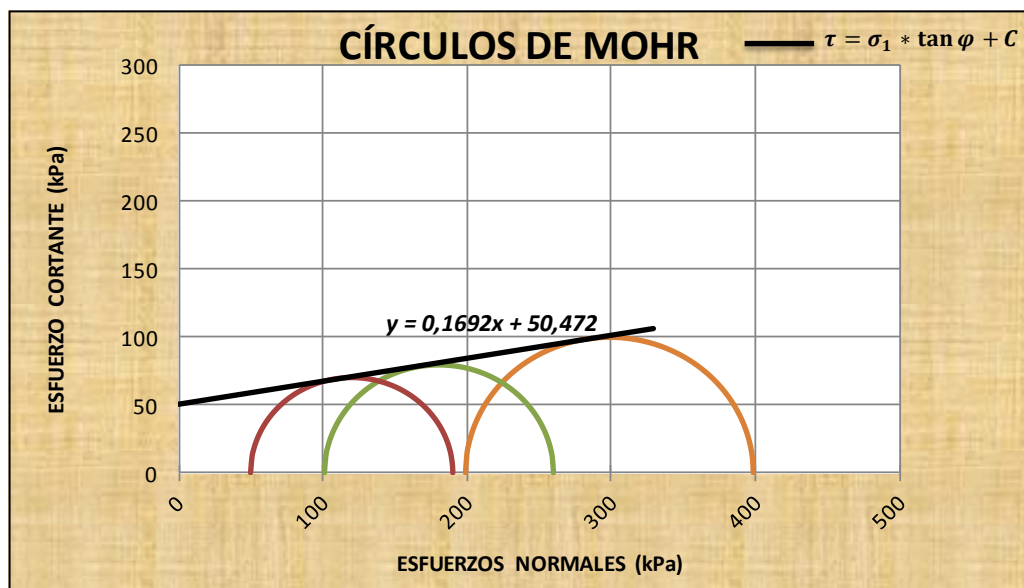
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 49,765

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,1668

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9992

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 50,472

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 9.6°



Elaboración Propia

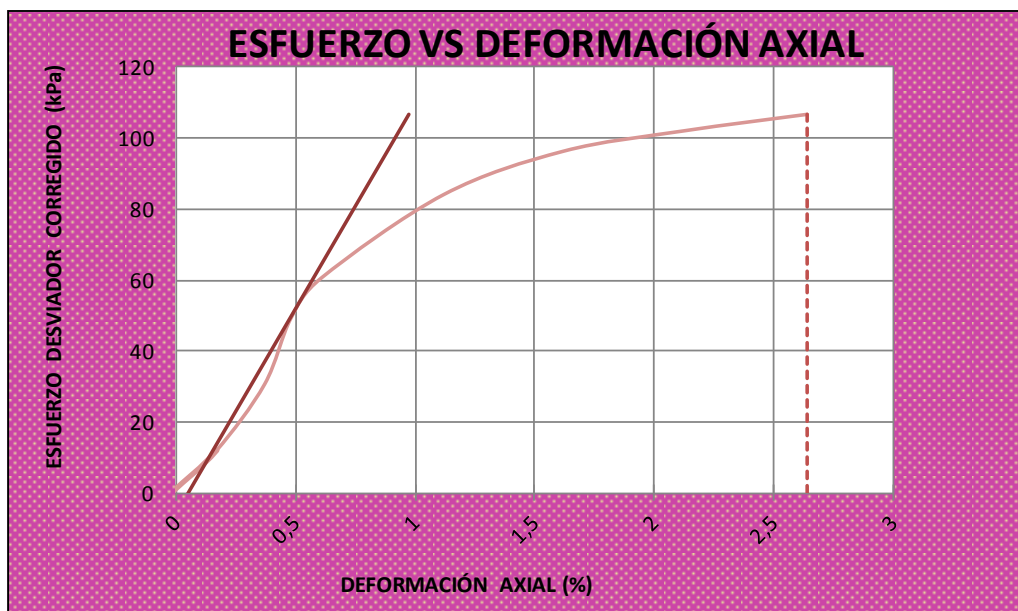
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 298051 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	106,70	49,80	156,50	103,15	53,35

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5215,87 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,40 KN/m ³
γ _{SECA}	14,25 KN/m ³
P _{MUESTRA}	958,60 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,54
H%	29,10 %
A Grado Aireación	5,90 %

E
[MPa]
11,56

ϵ
[m/m]
0,0228

S
[%]
94,10

e
Relación vacíos
0,78

ϕ
[°]
15,54

C
[KPa]
29,04

Elaboración Propia

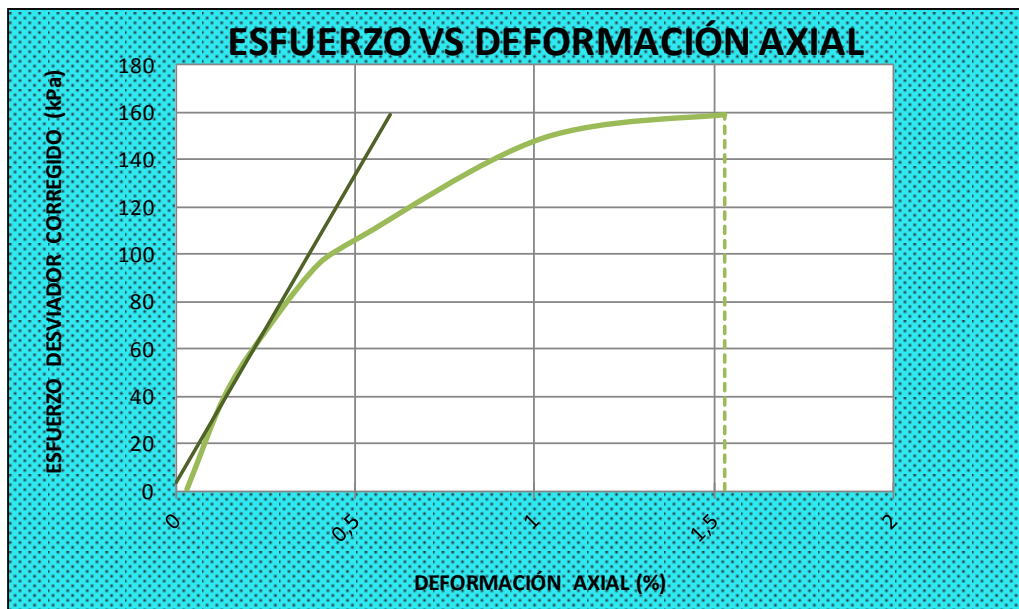
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 298051 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	159,10	99,60	258,70	179,15	79,55

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5215,87 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,40 KN/m ³
γ _{SECA}	14,25 KN/m ³
P _{MUESTRA}	958,60 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,54
H%	29,10 %
A _{Grado Aireación}	5,90 %

E
[MPa]
26,06

ϵ
[m/m]
0,0153

S
[%]
94,10

e
Relación vacíos
0,78

ϕ
[°]
15,54

C
[KPa]
29,04

Elaboración Propia

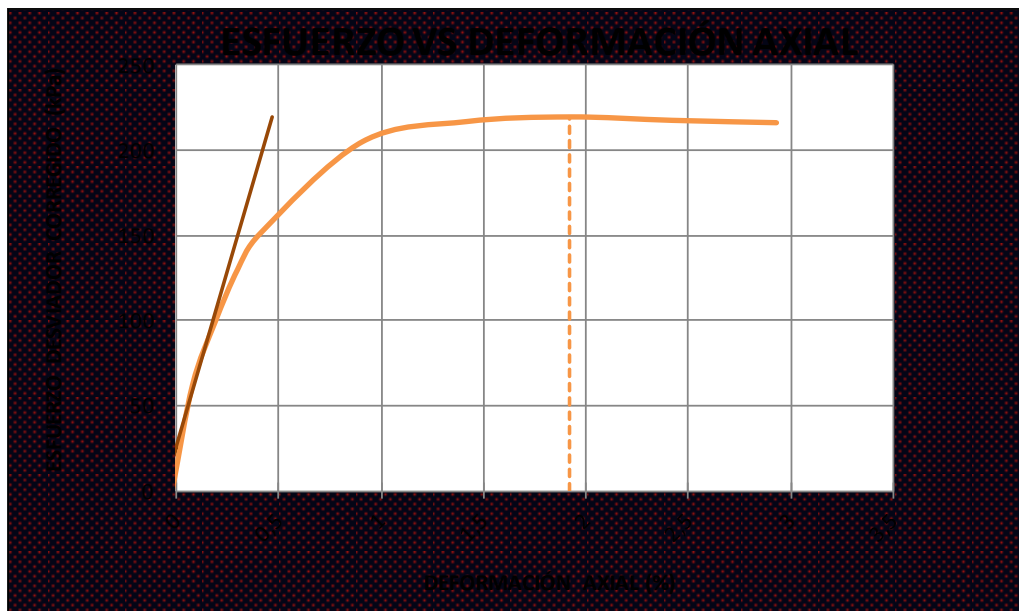
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 298051 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	219,60	200,50	420,10	310,30	109,80

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5215,87 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,40 KN/m ³
γ _{SECA}	14,25 KN/m ³
P _{MUESTRA}	958,60 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,54
H%	29,10 %
A _{Grado Aireación}	5,90 %

E
[MPa]
41,32

ϵ
[m/m]
0,0192

S
[%]
94,10

e
Relación vacíos
0,78

ϕ
[°]
15,54

C
[KPa]
29,04

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

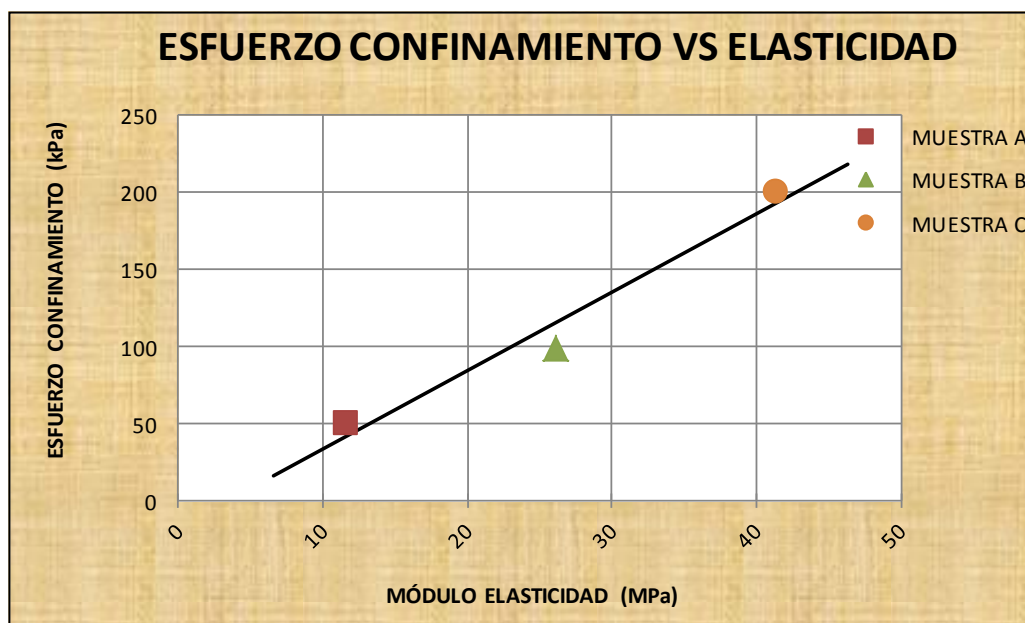
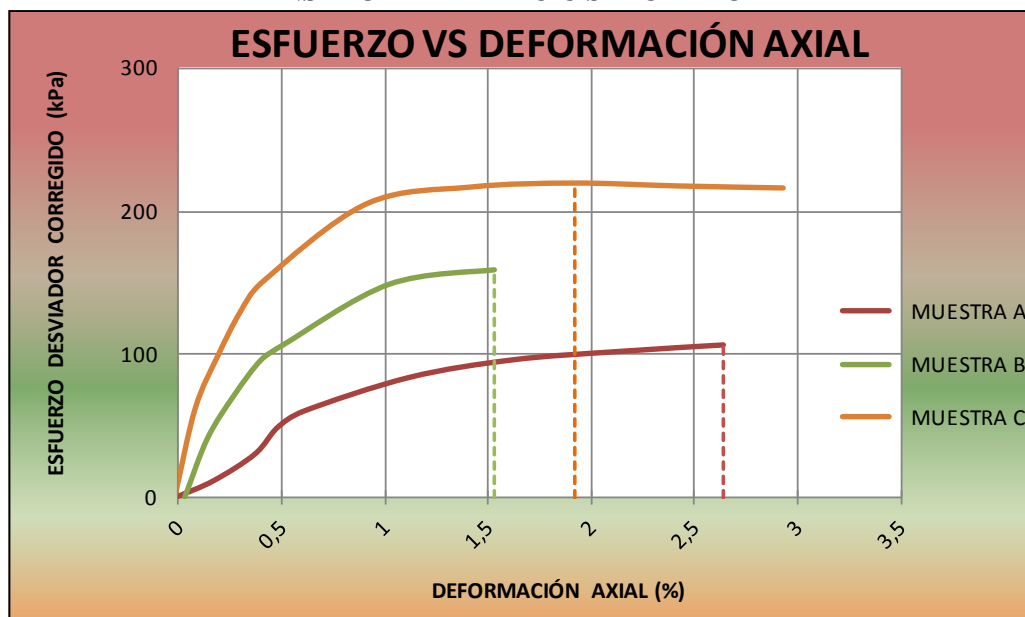
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 5 - 1

Denominación original Muestra#: 298051

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$5,078 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-16,99 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 5 - 1

Denominación original Muestra#: 298051

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO ARCILLOSO CON POMEZ COLOR CAFE OSCURO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DESV. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	106.70	49.80	156.50	103.15	53.35
B	159.10	99.60	258.70	179.15	79.55
C	219.60	200.50	420.10	310.30	109.80

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

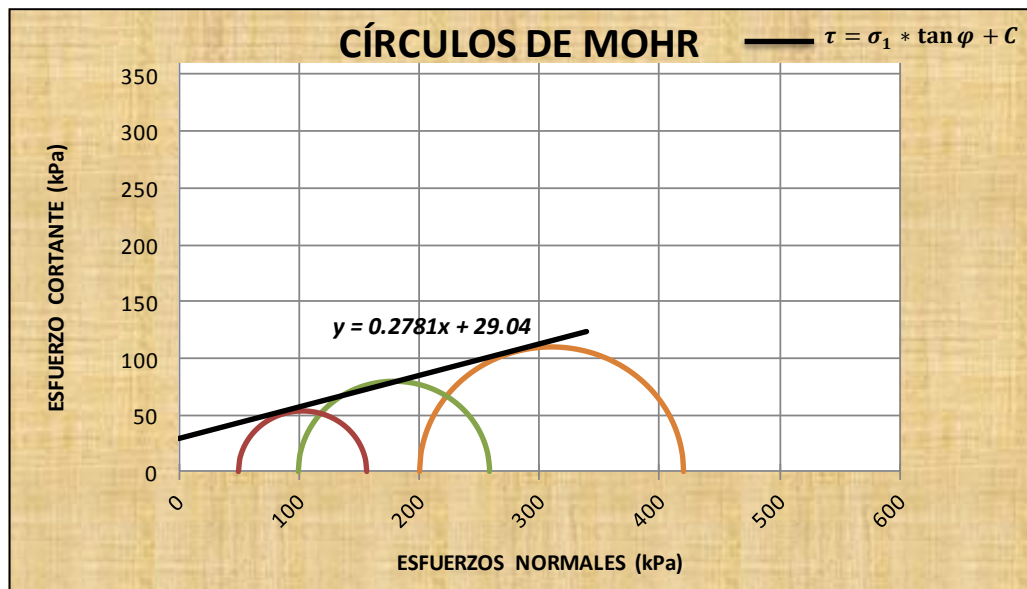
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 27.978

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0.2679

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0.9877

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 29.040

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 15.54°



Elaboración Propia

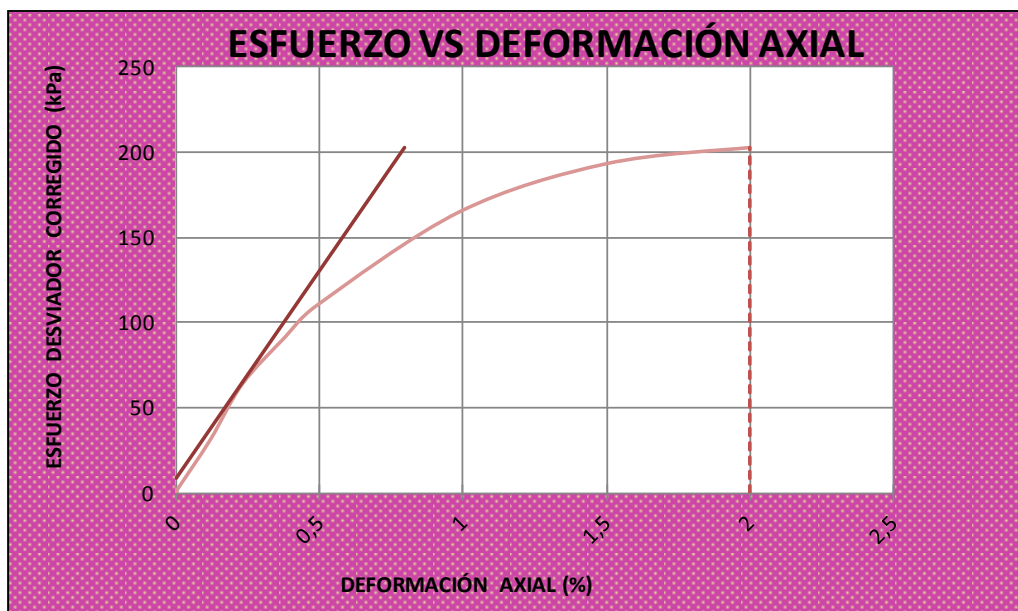
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 298052 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	202,80	49,30	252,10	150,70	101,40

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5277,33 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,70 KN/m ³
γ _{SECA}	13,16 KN/m ³
P _{MUESTRA}	934,71 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,48
H%	34,50 %
A _{Grado Aireación}	3,20 %

E
[MPa]
24,39

ϵ
[m/m]
0,0200

S
[%]
96,80

e
Relación vacíos
0,88

ϕ
[°]
28,29

C
[KPa]
37,22

Elaboración Propia

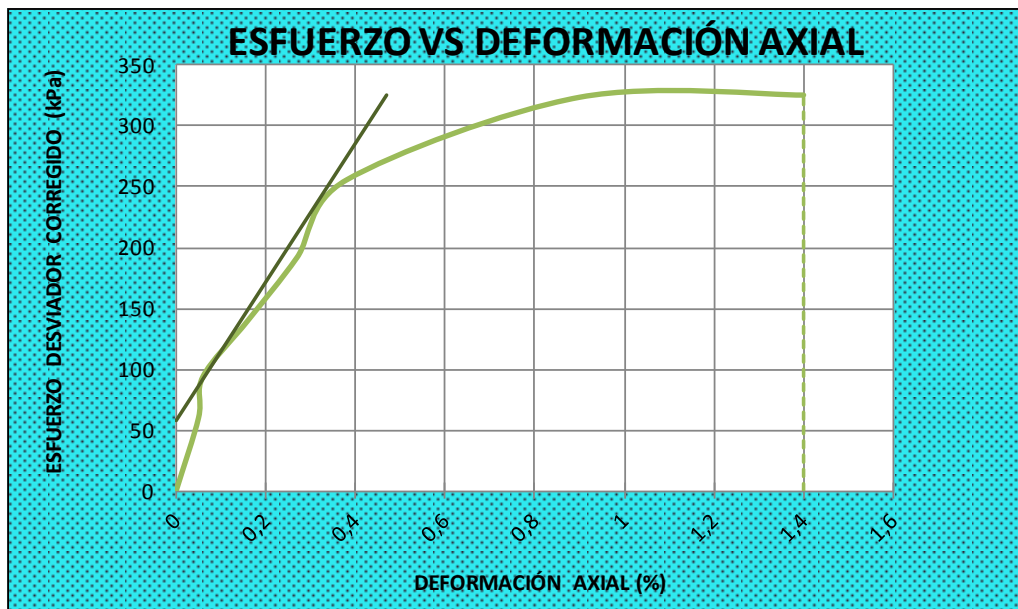
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 298052 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	323,60	100,80	424,40	262,60	161,80

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5277,33 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,70 KN/m ³
γ _{SECA}	13,16 KN/m ³
P _{MUESTRA}	934,71 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,48
H%	34,50 %
A _{Grado Aireación}	3,20 %

E
[MPa]
56,99

ϵ
[m/m]
0,0090

S
[%]
96,80

e
Relación vacíos
0,88

φ
[°]
28,29

C
[KPa]
37,22

Elaboración Propia

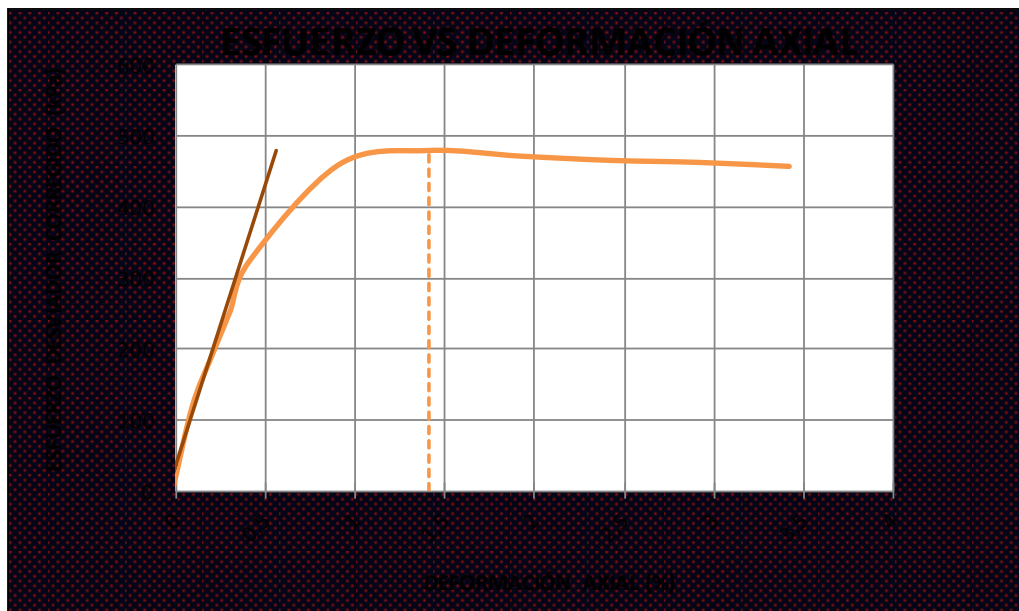
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 298052 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	479,60	200,70	680,30	440,50	239,80

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5277,33 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,70 KN/m ³
γ _{SECA}	13,16 KN/m ³
P _{MUESTRA}	934,71 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,48
H%	34,50 %
A _{Grado Aireación}	3,20 %

E
[MPa]
79,08

ϵ
[m/m]
0,0141

S
[%]
96,80

e
Relación vacíos
0,88

φ
[°]
28,29

C
[KPa]
37,22

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

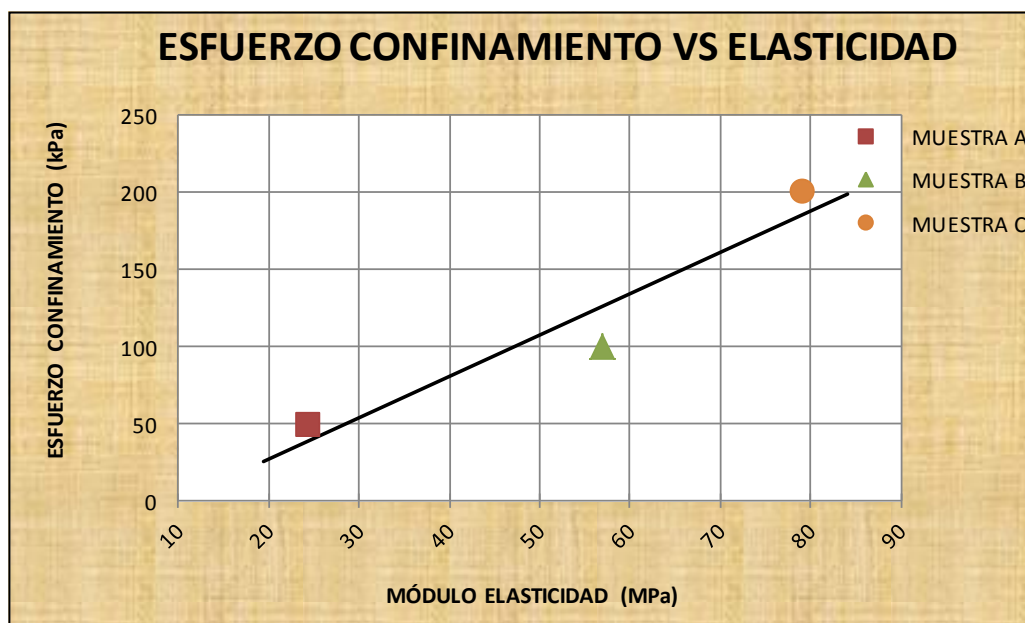
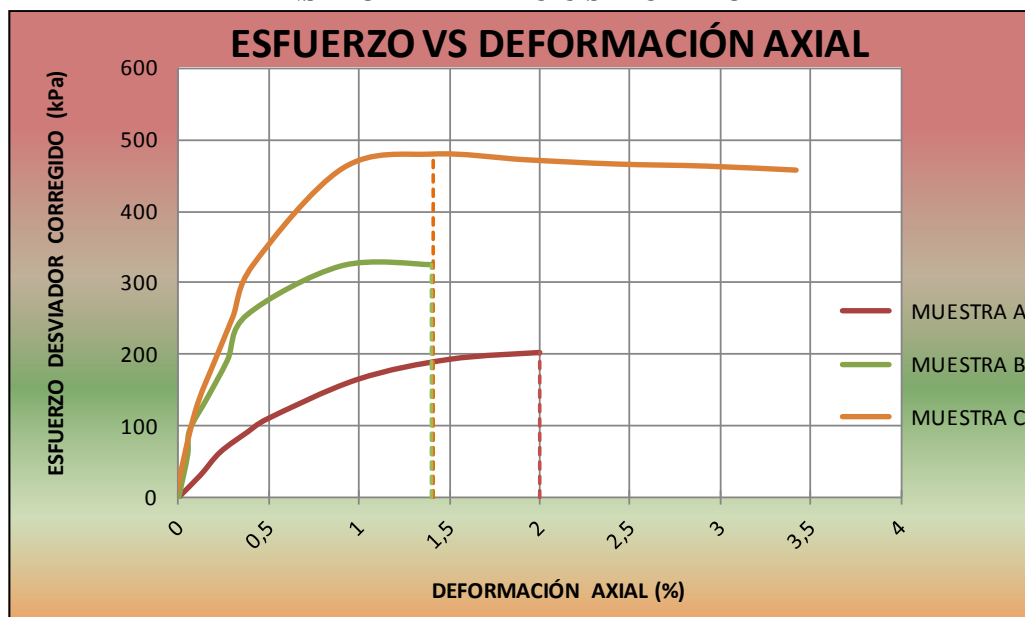
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 5 - 2

Denominación original Muestra#: 298052

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$2,679 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-26,35 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 5 - 2

Denominación original Muestra#: 298052

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARCILLO ARENOSO CON POMEZ RAICILLAS
COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	202,80	49,30	252,10	150,70	101,40
B	323,60	100,80	424,40	262,60	161,80
C	479,60	200,70	680,30	440,50	239,80

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

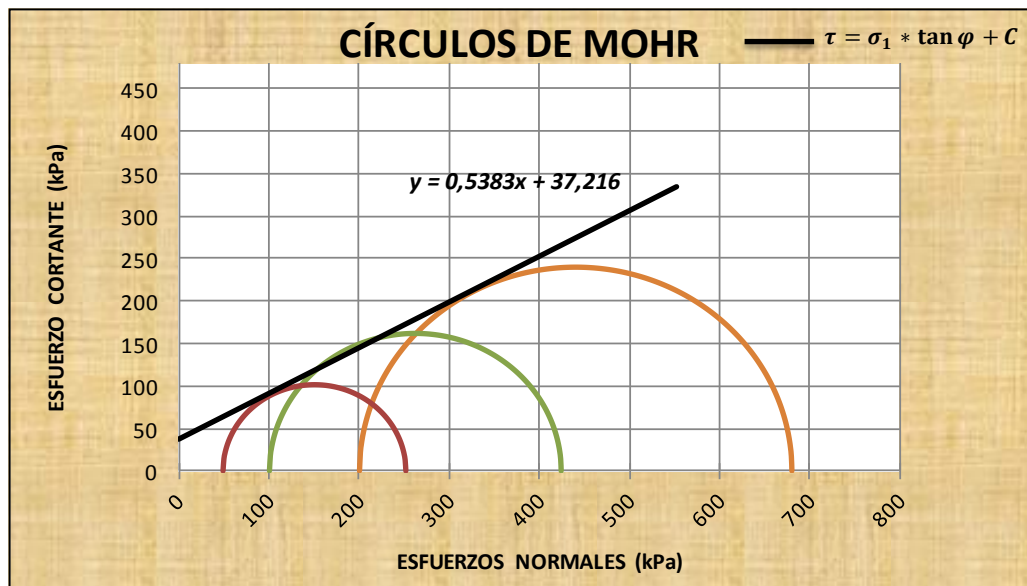
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 32,770

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4740

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9967

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 37,216

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 28.29°



Elaboración Propia

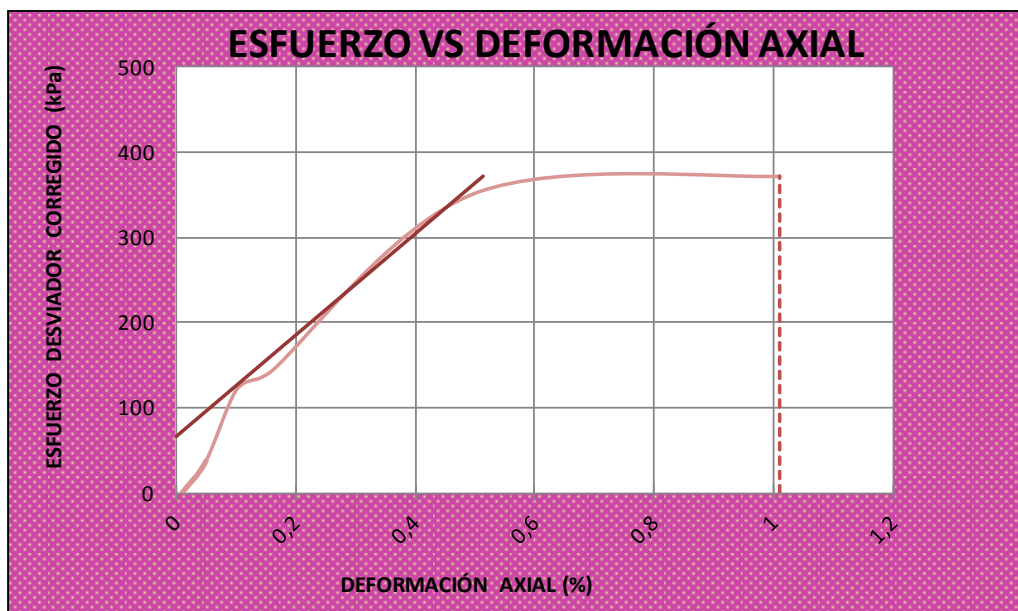
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 3 - A

Denominación original Muestra#: 298053 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	371,90	52,00	423,90	237,95	185,95

H _{PROMEDIO}	143,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,80 mm
A _{PROMEDIO}	3610,35 mm ²
V _{PROMEDIO}	5191,68 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,20 KN/m ³
γ _{SECA}	12,49 KN/m ³
P _{MUESTRA}	893,18 g
n Porosidad	50,98 %
GS	2,55
H%	37,70 %
A Grado Aireación	7,70 %

E
[MPa]
59,53

ϵ
[m/m]
0,0101

S
[%]
92,30

e
Relación vacíos
1,04

φ
[°]
35,87

C
[KPa]
59,53

Elaboración Propia

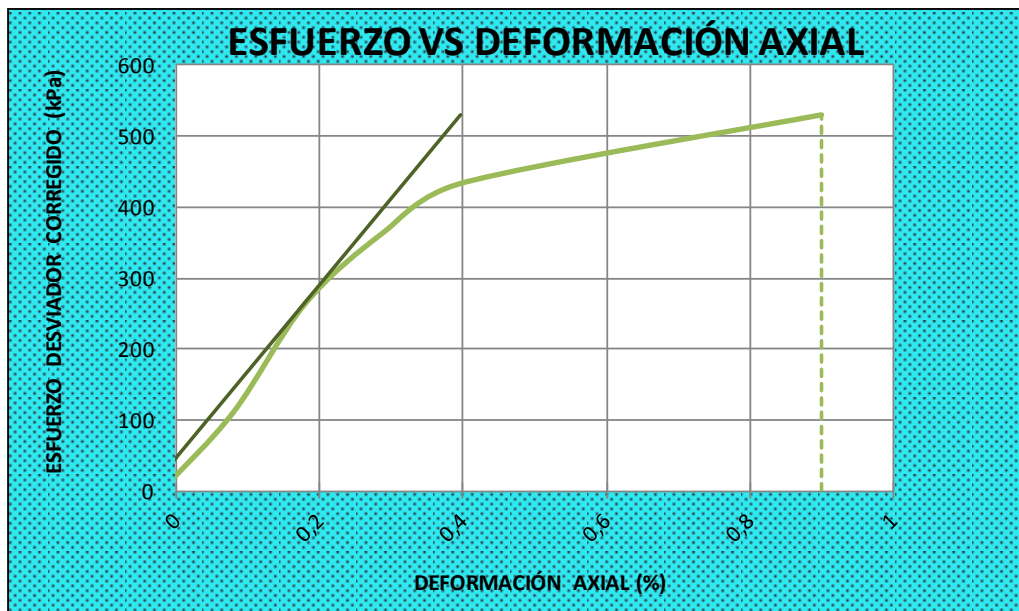
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 3 - B

Denominación original Muestra#: 298053 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	530,00	100,40	630,40	365,40	265,00

H _{PROMEDIO}	143,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,50 mm
A _{PROMEDIO}	3578,47 mm ²
V _{PROMEDIO}	5145,84 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,64 KN/m ³
P _{MUESTRA}	893,18 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	37,70 %
A _{Grado Aireación}	6,10 %

E
[MPa]
121,86

ϵ
[m/m]
0,0090

S
[%]
93,90

e
Relación vacíos
1,02

ϕ
[°]
35,87

C
[KPa]
59,53

Elaboración Propia

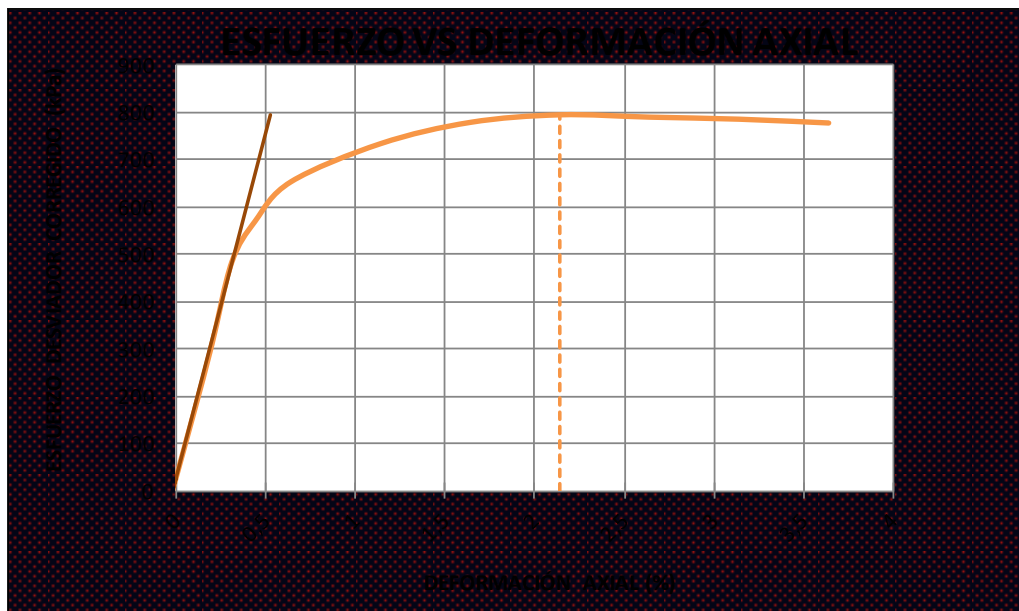
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 5 - 3 - C

Denominación original Muestra#: 298053 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	795,10	200,20	995,30	597,75	397,55

H _{PROMEDIO}	143,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,50 mm
A _{PROMEDIO}	3578,47 mm ²
V _{PROMEDIO}	5145,84 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	12,64 KN/m ³
P _{MUESTRA}	893,18 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	37,70 %
A _{Grado Aireación}	6,10 %

E
[MPa]
145,92

ϵ
[m/m]
0,0214

S
[%]
93,90

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
35,87

C
[KPa]
59,53

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

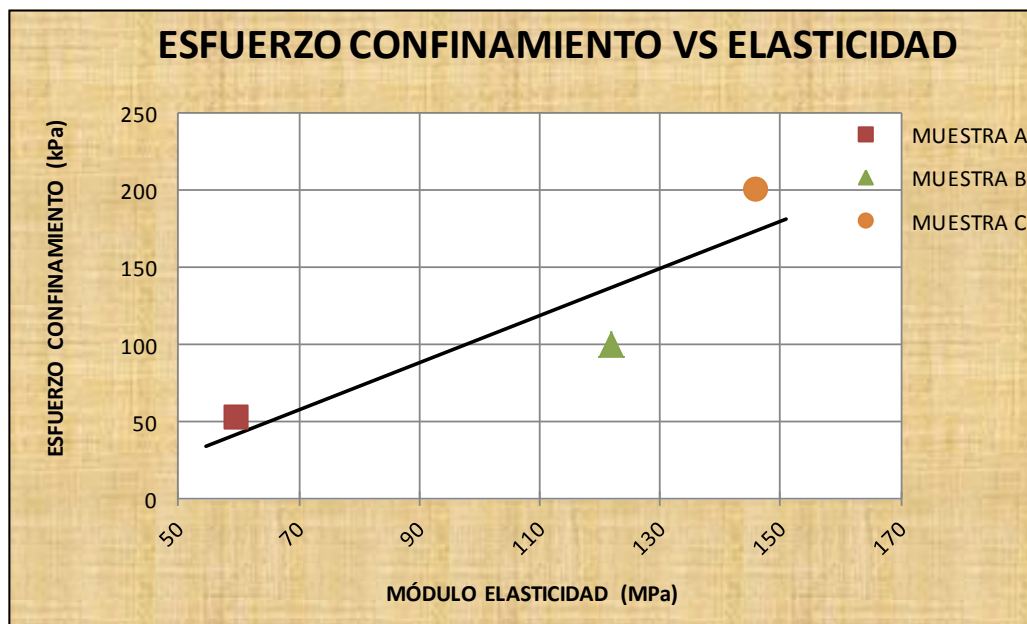
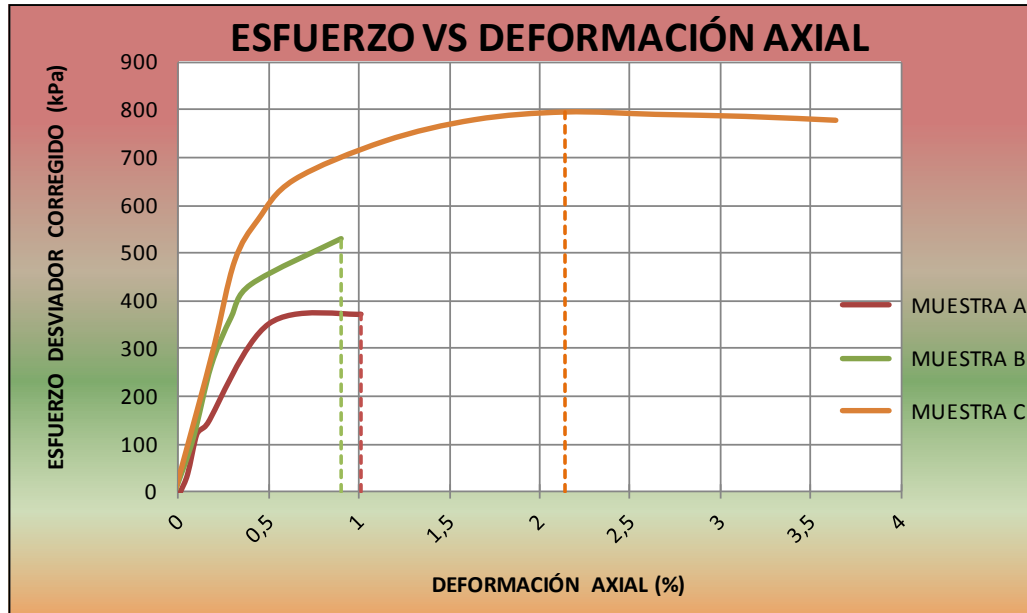
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 5 - 3

Denominación original Muestra#: 298053

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,528 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-49,15 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 5 - 3

Denominación original Muestra#: 298053

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENO ARCILLOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	371,90	52,00	423,90	237,95	185,95
B	530,00	100,40	630,40	365,40	265,00
C	795,10	200,20	995,30	597,75	397,55

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

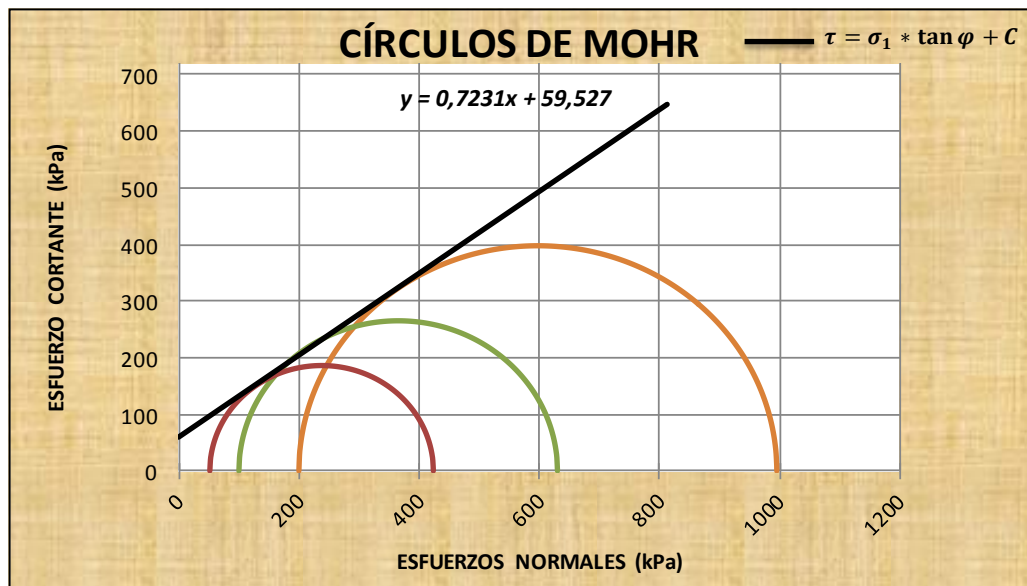
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 48,237

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5860

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9995

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 59,527

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 35.87°



Elaboración Propia

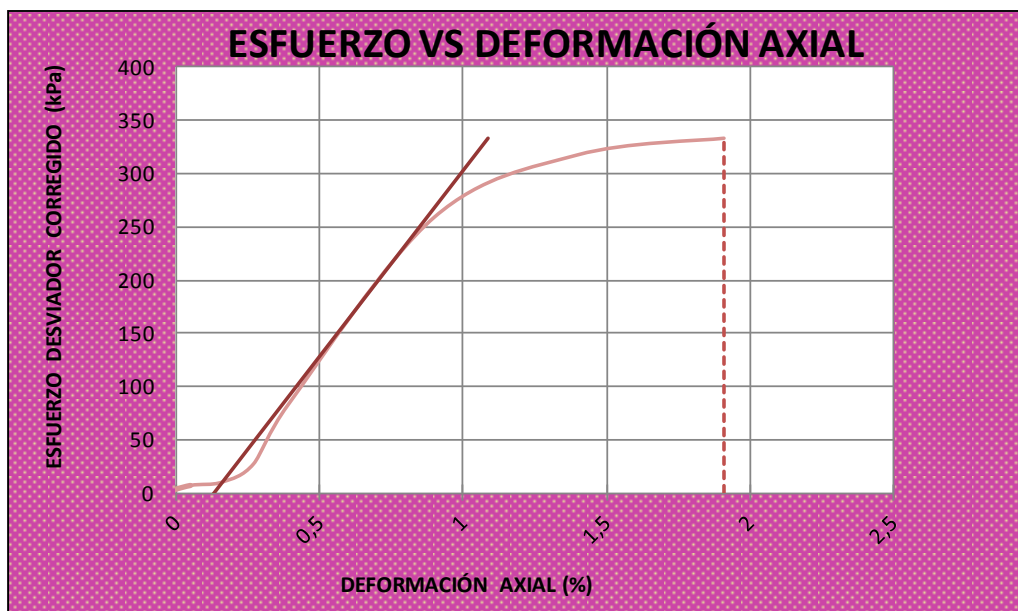
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 304661 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	333,20	49,90	383,10	216,50	166,60

H _{PROMEDIO}	141,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,63 mm
A _{PROMEDIO}	3699,29 mm ²
V _{PROMEDIO}	5215,99 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	12,80 KN/m ³
P _{MUESTRA}	931,93 g
n Porosidad	51,22 %
GS	2,62
H%	39,80 %
A Grado Aireación	0,80 %

E
[MPa]
34,90

ϵ
[m/m]
0,0191

S
[%]
99,20

e
Relación vacíos
1,05

ϕ
[°]
27,02

C
[KPa]
79,64

Elaboración Propia

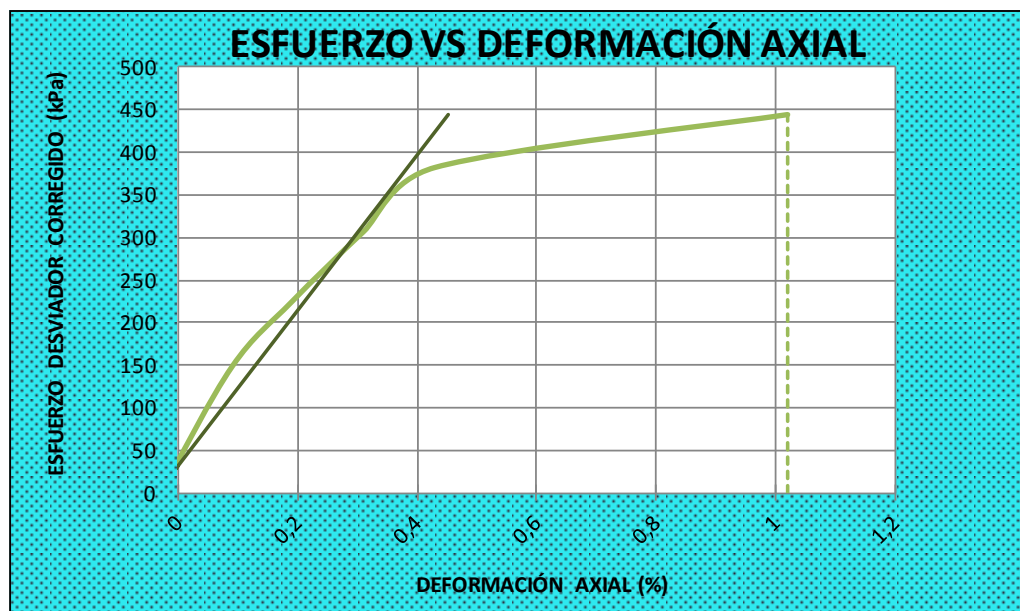
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 304661 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	444,30	100,90	545,20	323,05	222,15

H _{PROMEDIO}	141,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,63 mm
A _{PROMEDIO}	3699,29 mm ²
V _{PROMEDIO}	5215,99 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	12,80 KN/m ³
P _{MUESTRA}	931,93 g
n Porosidad	51,22 %
GS	2,62
H%	39,80 %
A _{Grado Aireación}	0,80 %

E
[MPa]
91,26

ϵ
[m/m]
0,0102

S
[%]
99,20

e
Relación vacíos
1,05

ϕ
[°]
27,02

C
[KPa]
79,64

Elaboración Propia

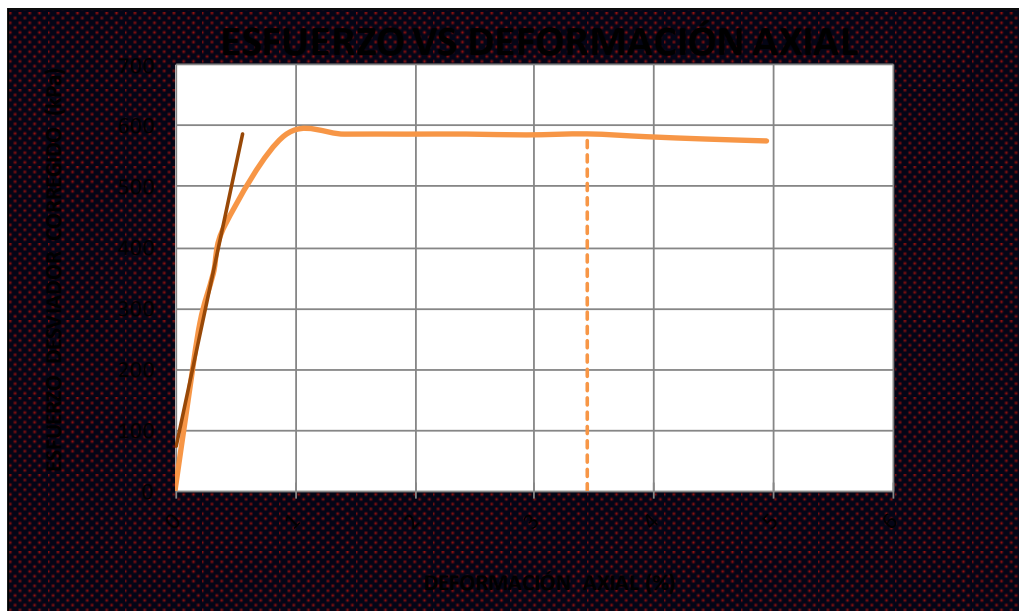
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 304661 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	587,10	200,10	787,20	493,65	293,55

H _{PROMEDIO}	141,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,63 mm
A _{PROMEDIO}	3699,29 mm ²
V _{PROMEDIO}	5215,99 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	12,80 KN/m ³
P _{MUESTRA}	931,93 g
n Porosidad	51,22 %
GS	2,62
H%	39,80 %
A _{Grado Aireación}	0,80 %

E
[MPa]
92,40

ϵ
[m/m]
0,0344

S
[%]
99,20

e
Relación vacíos
1,05

φ
[°]
27,02

C
[KPa]
79,64

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

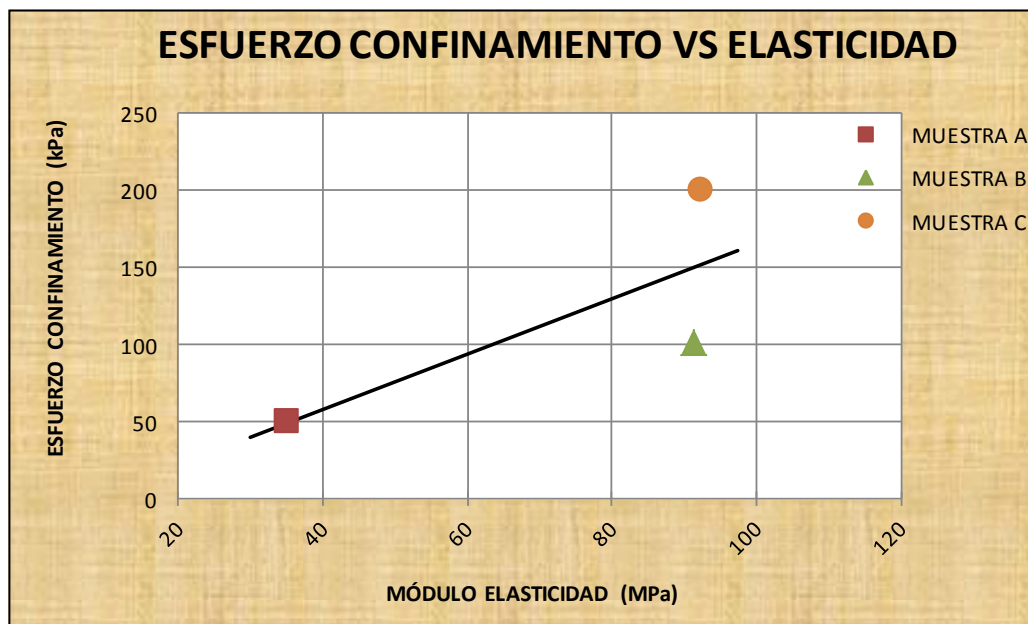
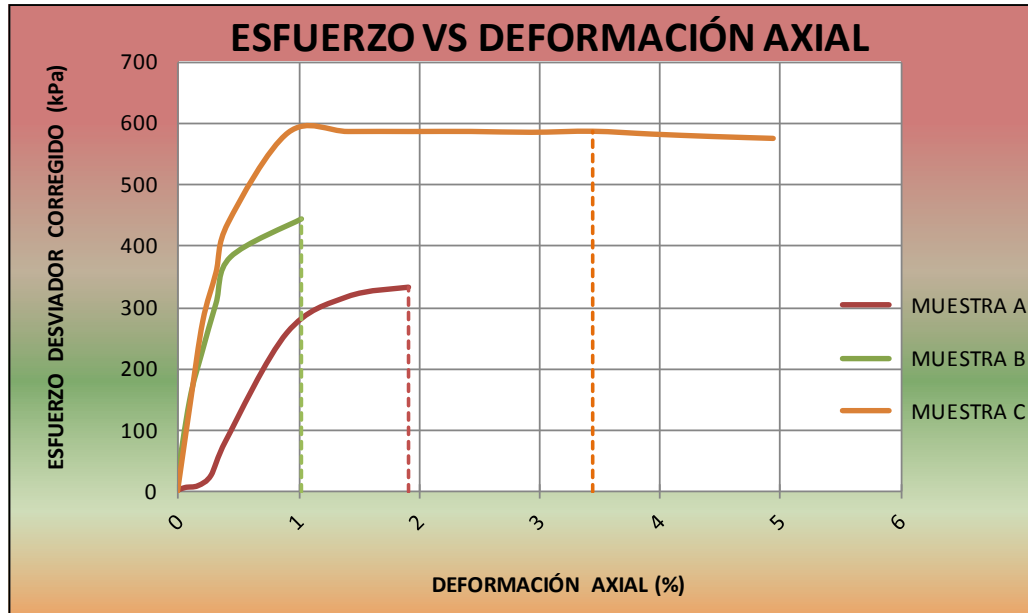
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 1

Denominación original Muestra#: 304661

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,793 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-13,65 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 1

Denominación original Muestra#: 304661

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENO ARCILLOSO CON POMEZ PINTAS NEGRAS
OXIDACIONES ANARANJADAS COLOR CAFE CLARO*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	333,20	49,90	383,10	216,50	166,60
B	444,30	100,90	545,20	323,05	222,15
C	587,10	200,10	787,20	493,65	293,55

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

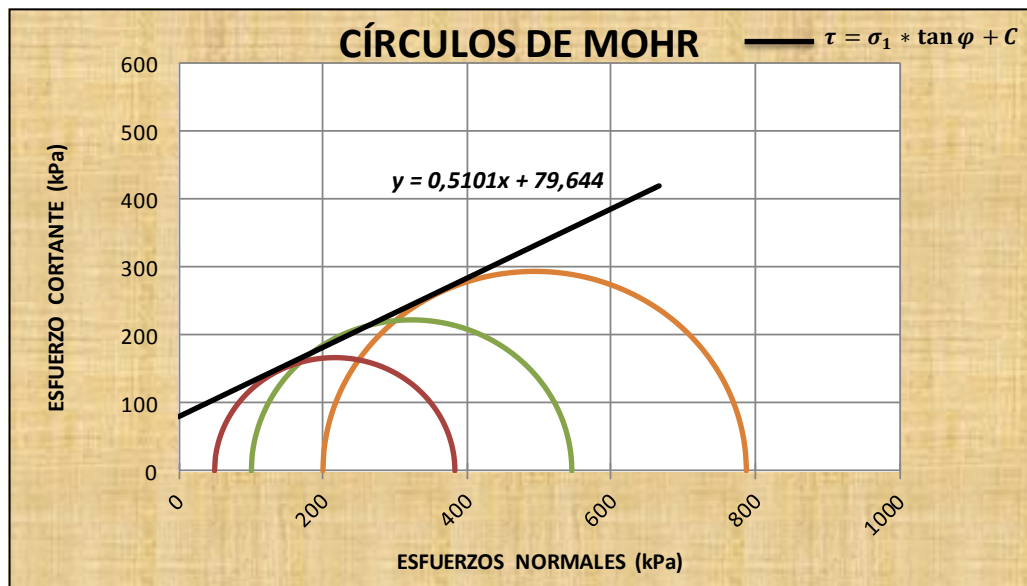
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 70,948

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4544

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9963

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 79,644

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 27.02°



Elaboración Propia

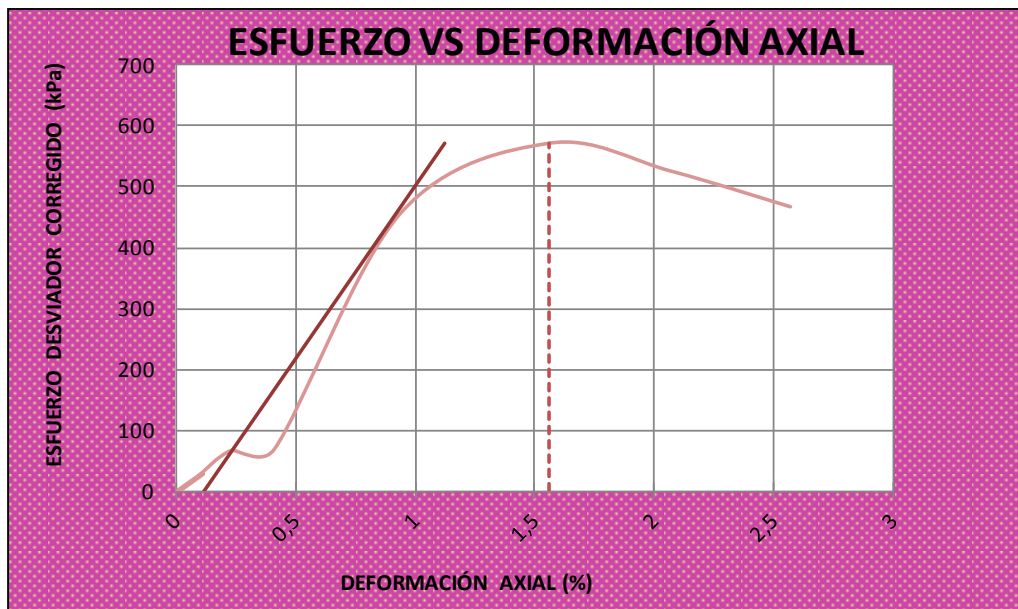
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 304662 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	571,60	50,00	621,60	335,80	285,80

H _{PROMEDIO}	140,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5193,43 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,90 KN/m ³
γ _{SECA}	11,81 KN/m ³
P _{MUESTRA}	878,77 g
n Porosidad	53,70 %
GS	2,55
H%	43,10 %
A _{Grado Aireación}	5,00 %

E
[MPa]
56,82

ϵ
[m/m]
0,0156

S
[%]
95,00

e
Relación vacíos
1,16

ϕ
[°]
25,05

C
[KPa]
150,23

Elaboración Propia

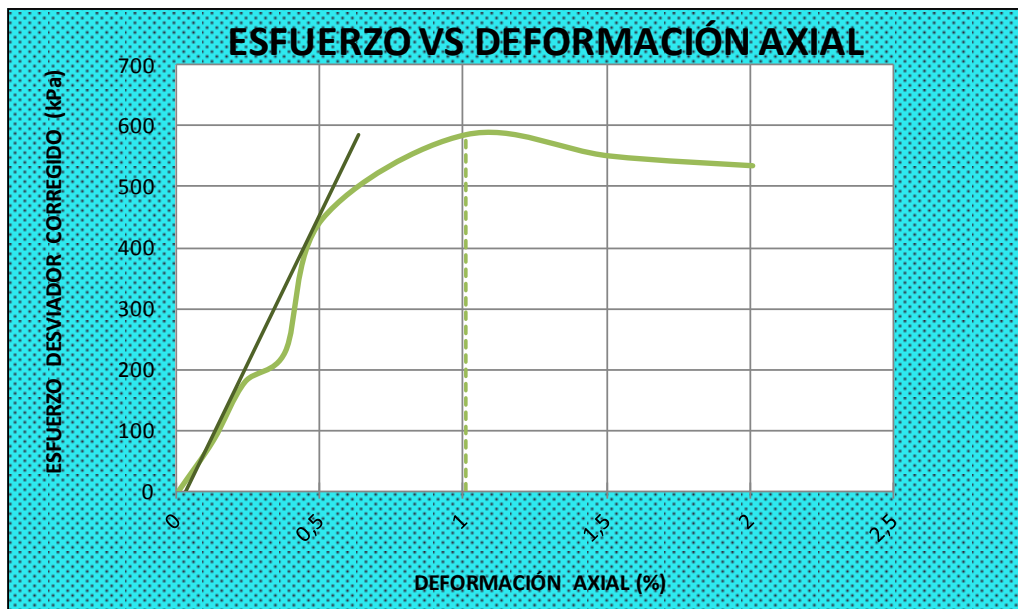
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 304662 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	585,50	100,00	685,50	392,75	292,75

H _{PROMEDIO}	140,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5193,43 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,90 KN/m ³
γ _{SECA}	11,81 KN/m ³
P _{MUESTRA}	878,77 g
n Porosidad	53,70 %
GS	2,55
H%	43,10 %
A _{Grado Aireación}	5,00 %

E
[MPa]
97,34

ϵ
[m/m]
0,0101

S
[%]
95,00

e
Relación vacíos
1,16

ϕ
[°]
25,05

C
[KPa]
150,23

Elaboración Propia

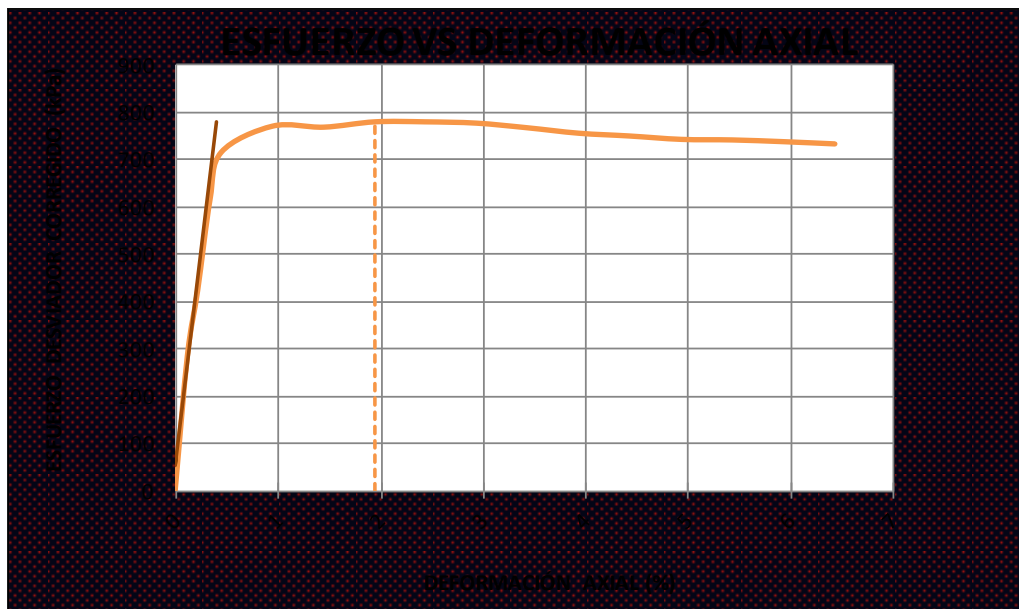
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 304662 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	780,20	204,80	985,00	594,90	390,10

H _{PROMEDIO}	140,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5193,43 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,90 KN/m ³
γ _{SECA}	11,81 KN/m ³
P _{MUESTRA}	878,77 g
n Porosidad	53,70 %
GS	2,55
H%	43,10 %
A _{Grado Aireación}	5,00 %

E
[MPa]
180,10

ϵ
[m/m]
0,0243

S
[%]
95,00

e
Relación vacíos
1,16

ϕ
[°]
25,05

C
[KPa]
150,23

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

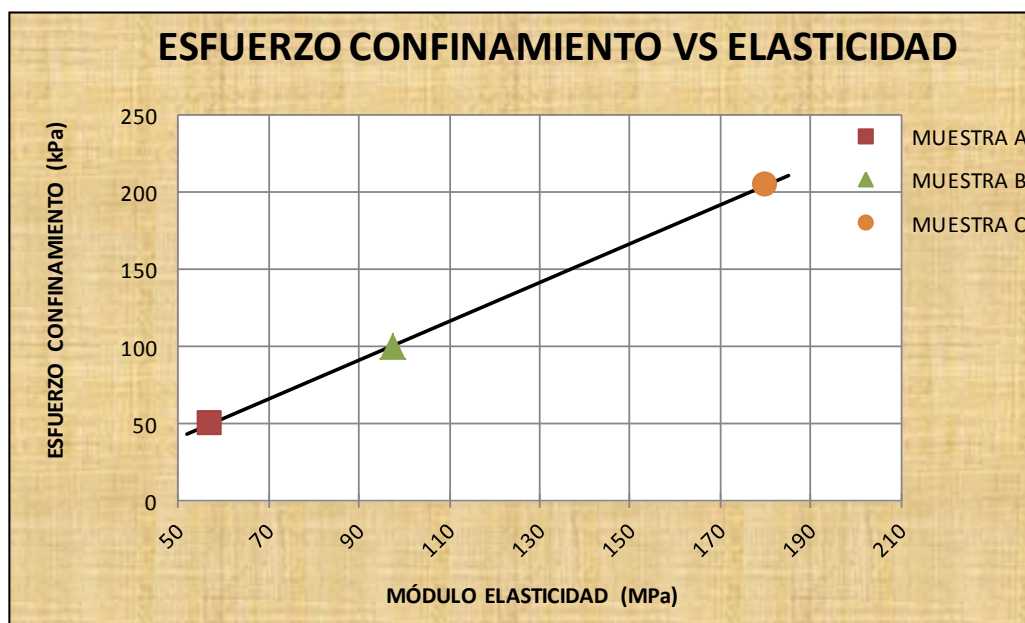
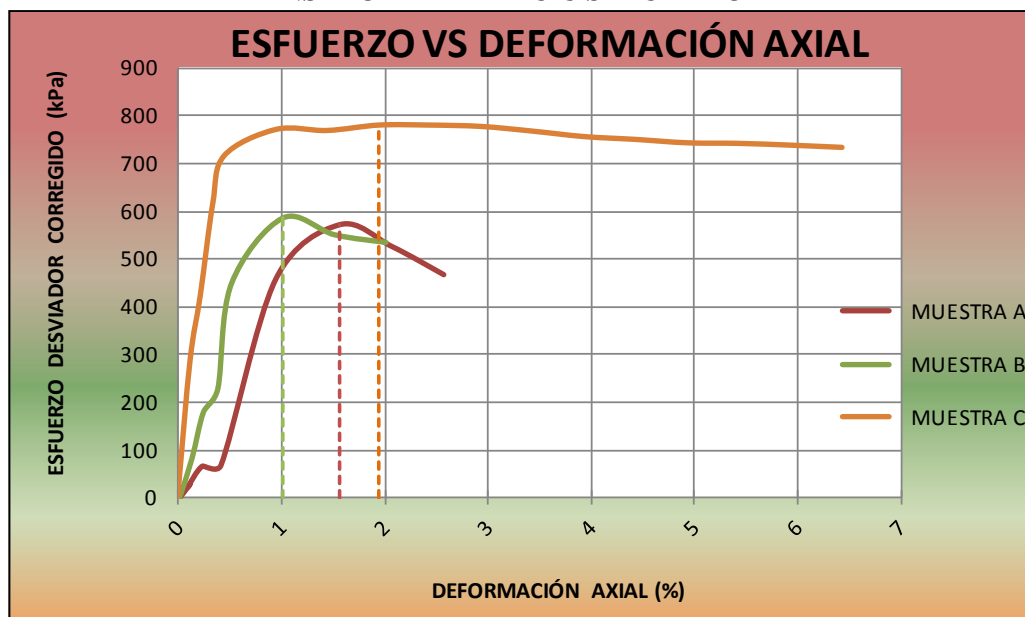
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 2

Denominación original Muestra#: 304662

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,257 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-21,81 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 2

Denominación original Muestra#: 304662

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	571,60	50,00	621,60	335,80	285,80
B	585,50	100,00	685,50	392,75	292,75
C	780,20	204,80	985,00	594,90	390,10

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

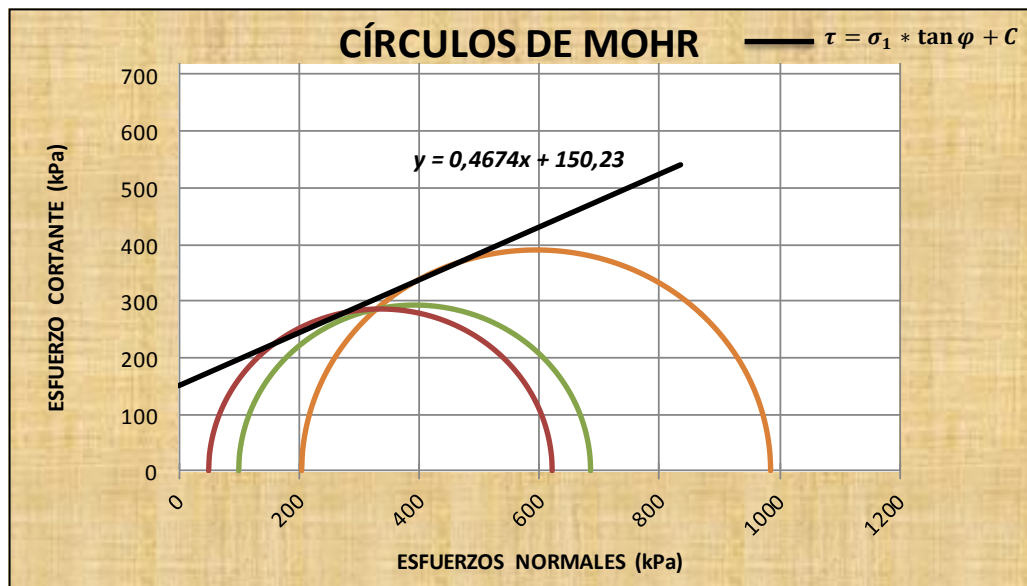
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 136,101

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4234

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9774

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 150,231

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 25.05°



Elaboración Propia

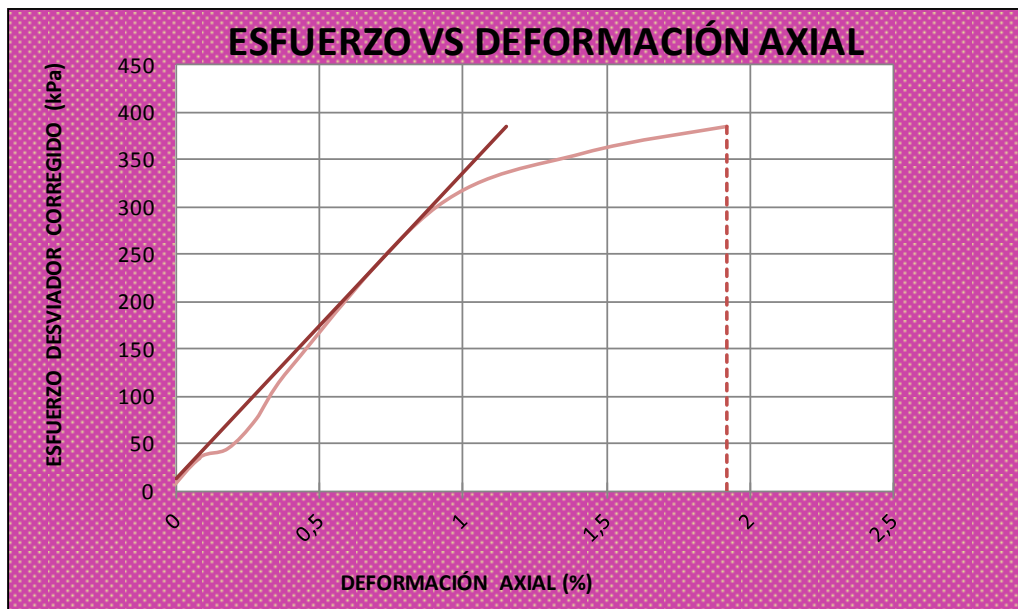
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 3 - A

Denominación original Muestra#: 304663 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	385,20	50,10	435,30	242,70	192,60

H _{PROMEDIO}	141,30 mm
D _{PROMEDIO}	69,07 mm
A _{PROMEDIO}	3746,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	5294,33 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,20 KN/m ³
γ _{SECA}	14,00 KN/m ³
P _{MUESTRA}	962,62 g
n Porosidad	46,52 %
GS	2,62
H%	30,00 %
A Grado Aireación	10,00 %

E
[MPa]
32,34

ϵ
[m/m]
0,0192

S
[%]
90,00

e
Relación vacíos
0,87

ϕ
[°]
29,09

C
[KPa]
87,75

Elaboración Propia

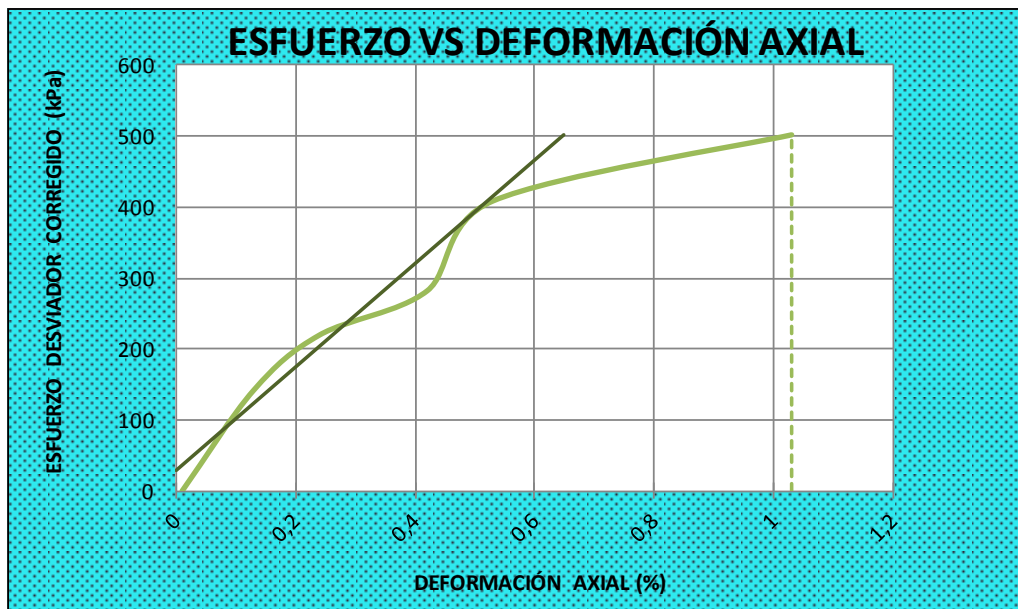
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 3 - B

Denominación original Muestra#: 304663 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	501,80	100,70	602,50	351,60	250,90

H _{PROMEDIO}	141,30 mm
D _{PROMEDIO}	69,07 mm
A _{PROMEDIO}	3746,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	5294,33 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,20 KN/m ³
γ _{SECA}	14,00 KN/m ³
P _{MUESTRA}	962,62 g
n Porosidad	46,52 %
GS	2,62
H%	30,00 %
A _{Grado Aireación}	10,00 %

E
[MPa]
72,92

ϵ
[m/m]
0,0103

S
[%]
90,00

e
Relación vacíos
0,87

φ
[°]
29,09

C
[KPa]
87,75

Elaboración Propia

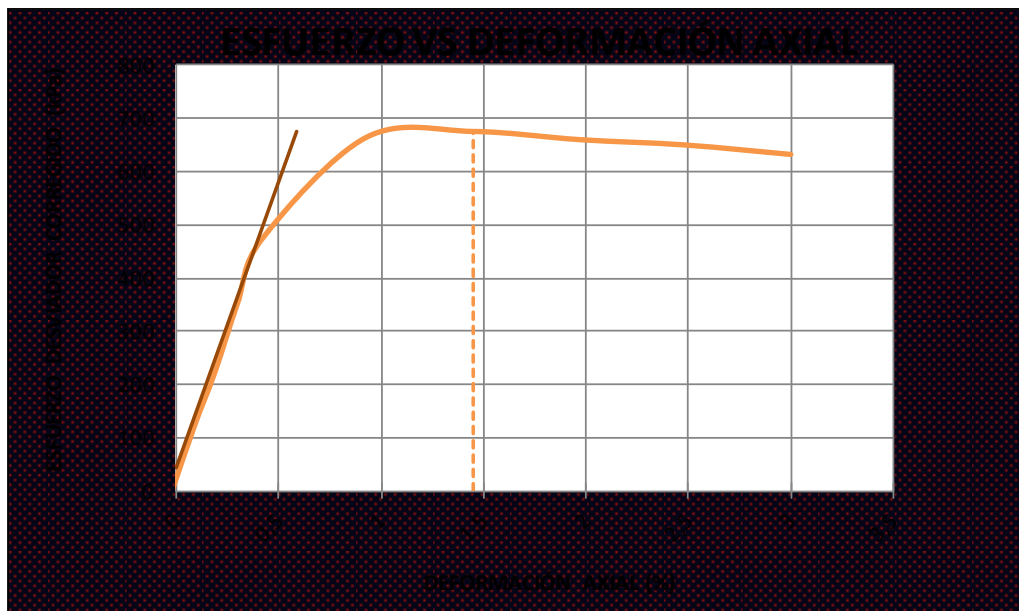
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 3 - C

Denominación original Muestra#: 304663 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	675,50	201,70	877,20	539,45	337,75

H _{PROMEDIO}	141,30 mm
D _{PROMEDIO}	69,07 mm
A _{PROMEDIO}	3746,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	5294,33 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,20 KN/m ³
γ _{SECA}	14,00 KN/m ³
P _{MUESTRA}	962,62 g
n Porosidad	46,52 %
GS	2,62
H%	30,00 %
A _{Grado Aireación}	10,00 %

E
[MPa]
107,46

ϵ
[m/m]
0,0145

S
[%]
90,00

e
Relación vacíos
0,87

φ
[°]
29,09

C
[KPa]
87,75

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

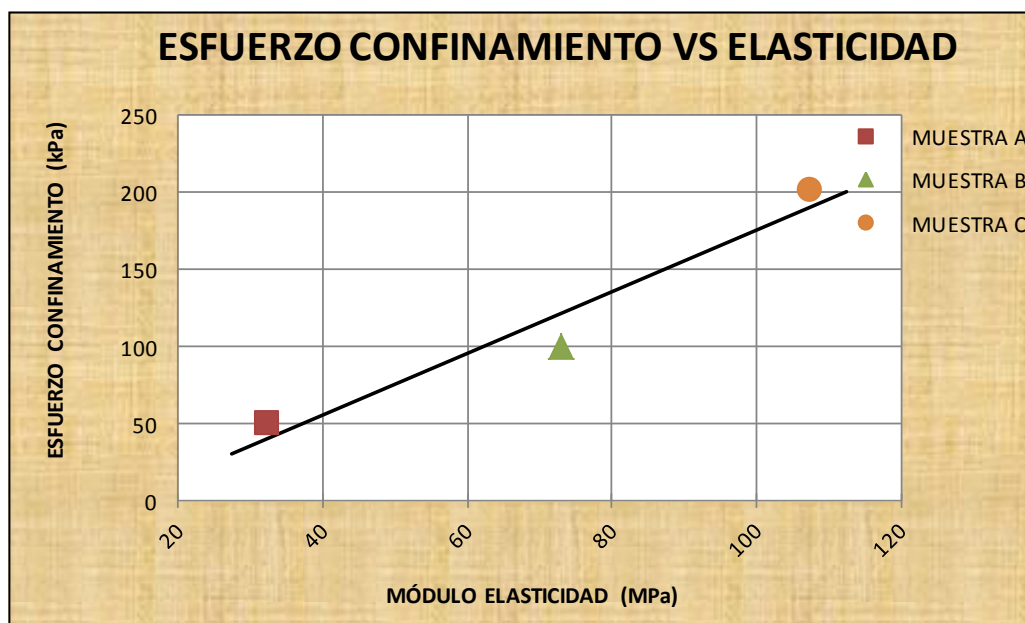
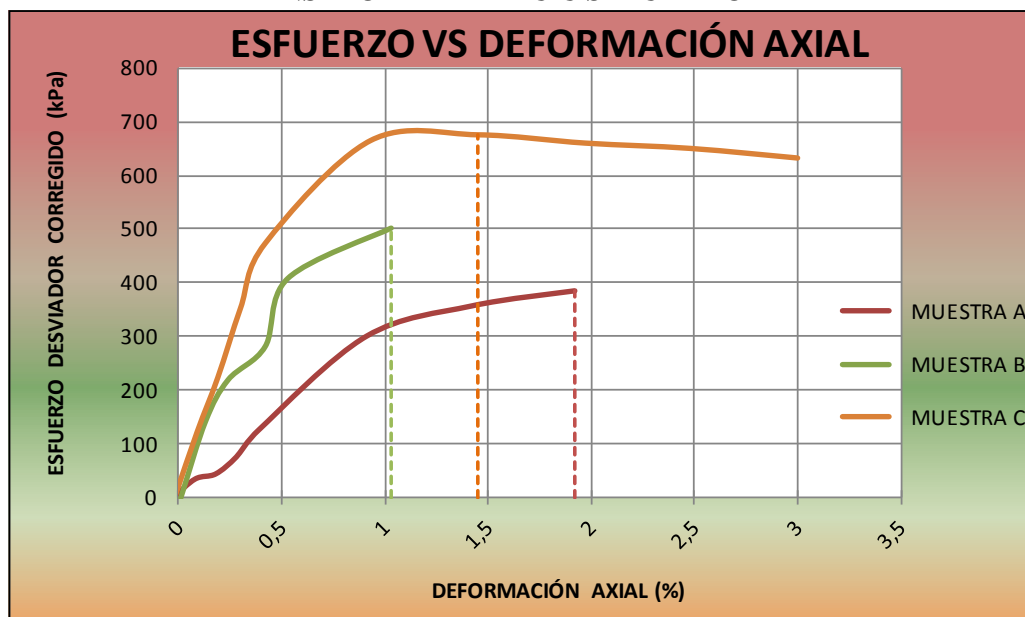
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 3

Denominación original Muestra#: 304663

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,996 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-24,01 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

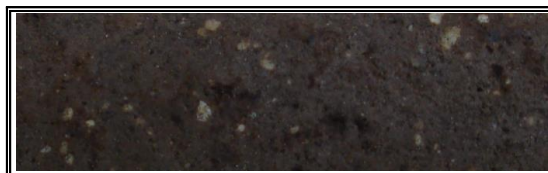
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 3

Denominación original Muestra#: 304663

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ PINTAS NEGRAS
OXIDACIONES ROJIZAS COLOR CAFE PARDUZCO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	385,20	50,10	435,30	242,70	192,60
B	501,80	100,70	602,50	351,60	250,90
C	675,50	201,70	877,20	539,45	337,75

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

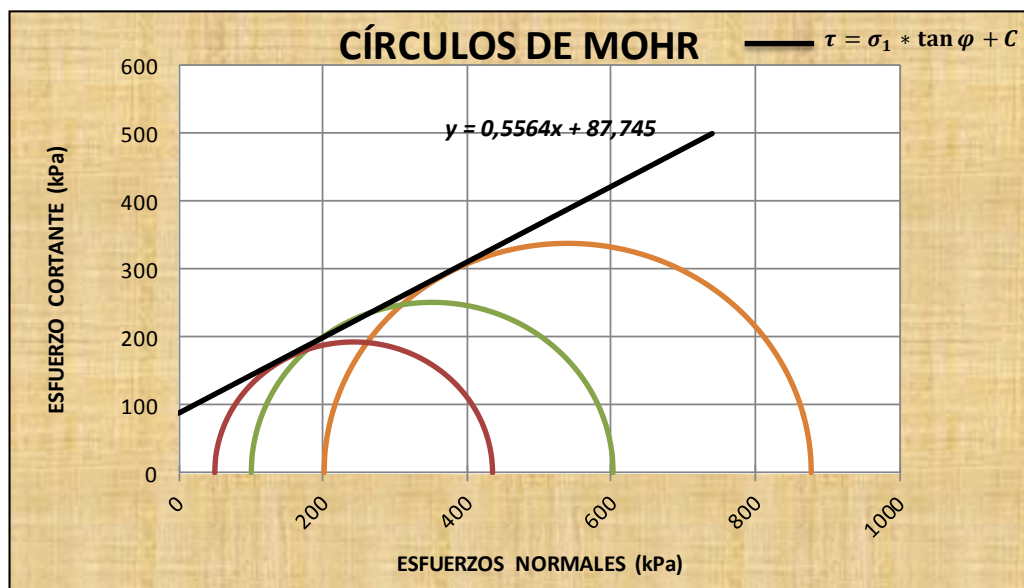
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 76,676

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4862

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9985

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 87,745

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 29.09°



Elaboración Propia

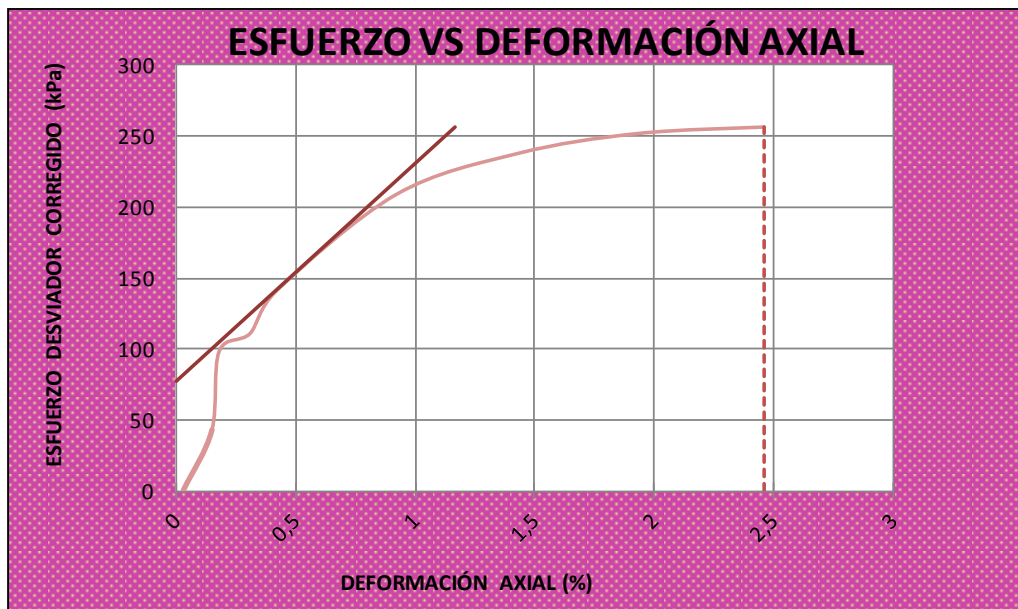
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 4 - A

Denominación original Muestra#: 304664 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	256,50	50,10	306,60	178,35	128,25

H _{PROMEDIO}	140,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5193,43 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,51 KN/m ³
P _{MUESTRA}	935,12 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,54
H%	33,20 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
15,36

ϵ
[m/m]
0,0231

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
0,88

φ
[°]
30,23

C
[KPa]
46,31

Elaboración Propia

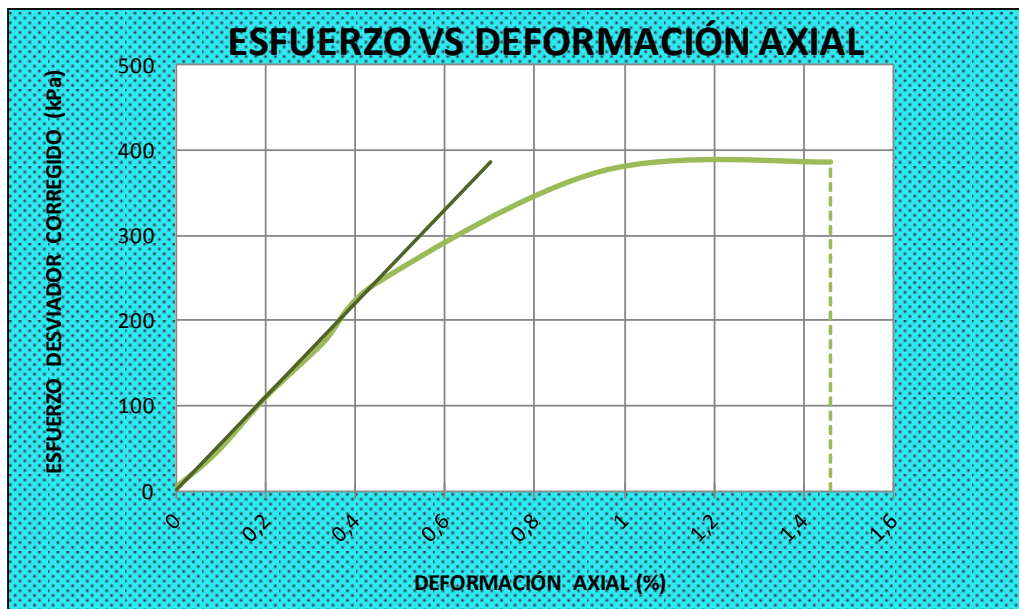
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 4 - B

Denominación original Muestra#: 304664 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	375,60	100,90	476,50	288,70	187,80

H _{PROMEDIO}	140,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5193,43 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,51 KN/m ³
P _{MUESTRA}	935,12 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,54
H%	33,20 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
54,95

ϵ
[m/m]
0,0095

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
0,88

ϕ
[°]
30,23

C
[KPa]
46,31

Elaboración Propia

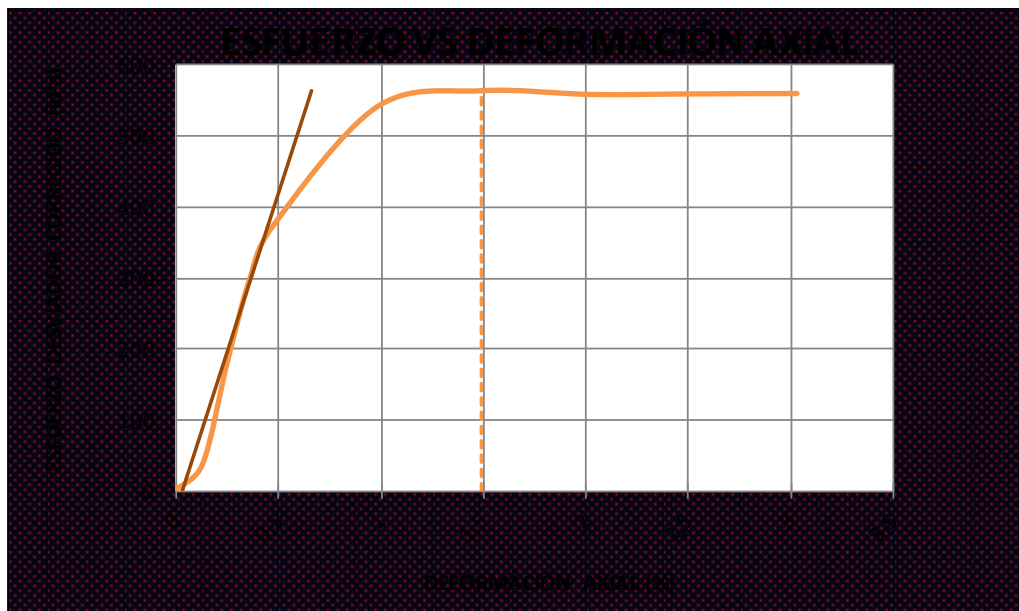
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 6 - 4 - C

Denominación original Muestra#: 304664 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	564,00	200,40	764,40	482,40	282,00

H _{PROMEDIO}	140,80 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5193,43 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,51 KN/m ³
P _{MUESTRA}	935,12 g
n Porosidad	46,81 %
GS	2,54
H%	33,20 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
89,42

ϵ
[m/m]
0,0149

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
0,88

φ
[°]
30,23

C
[KPa]
46,31

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

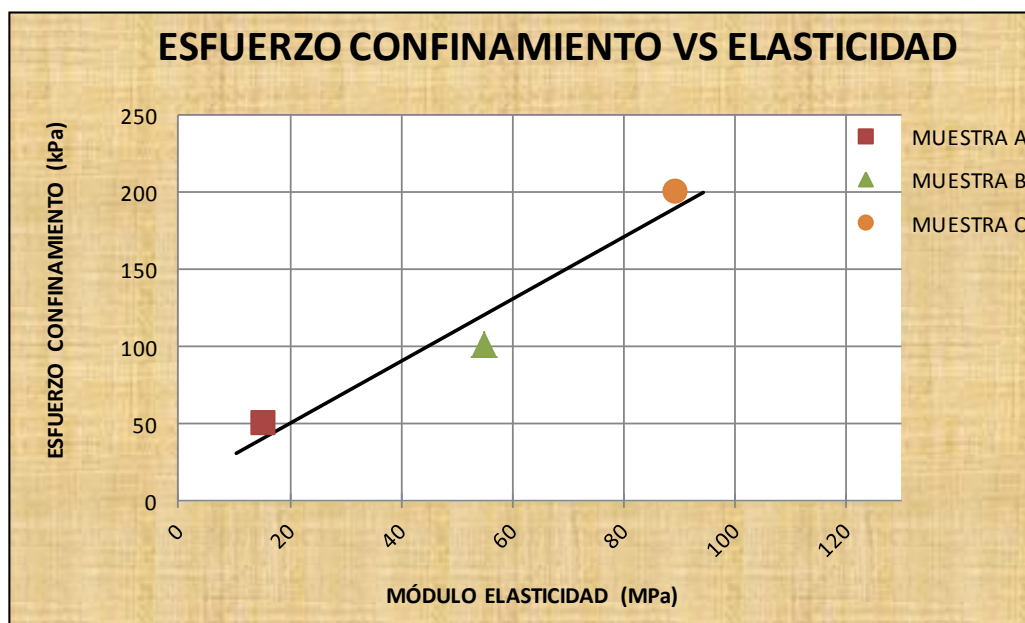
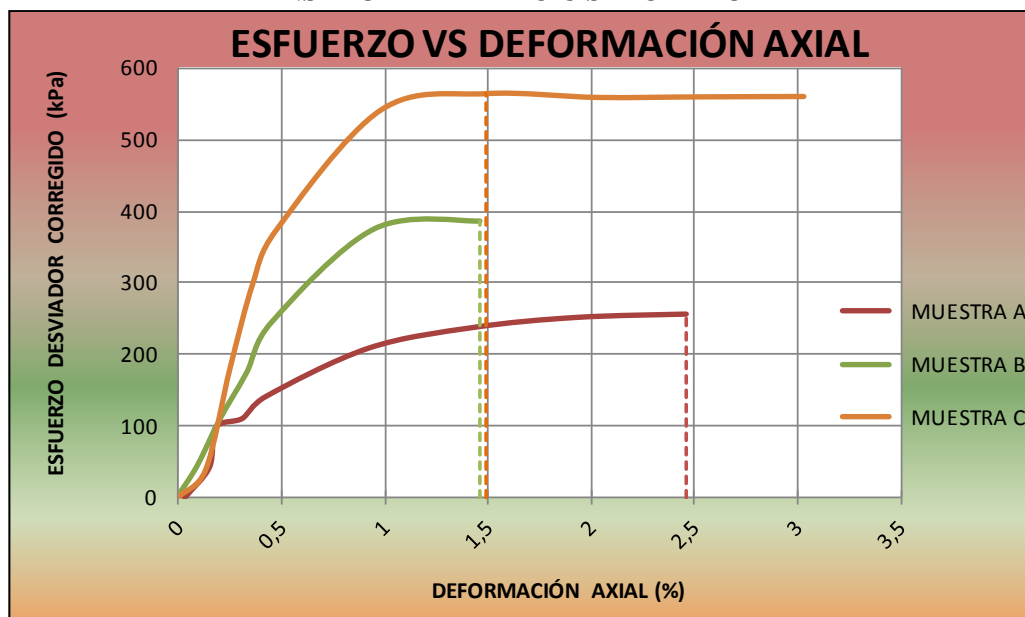
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 4

Denominación original Muestra#: 304664

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	2,011	$\cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	10,07	$\cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 6 - 4

Denominación original Muestra#: 304664

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARCILLO ARENOSO COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	256,50	50,10	306,60	178,35	128,25
B	375,60	100,90	476,50	288,70	187,80
C	564,00	200,40	764,40	482,40	282,00

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

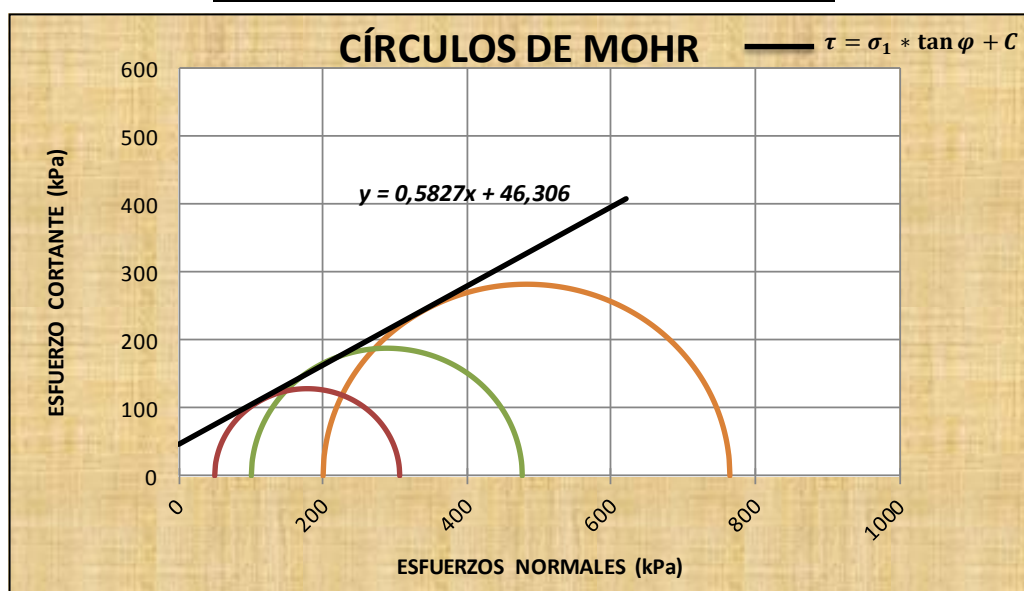
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 40,009

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5035

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9992

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 46,306

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 30.23°



Elaboración Propia

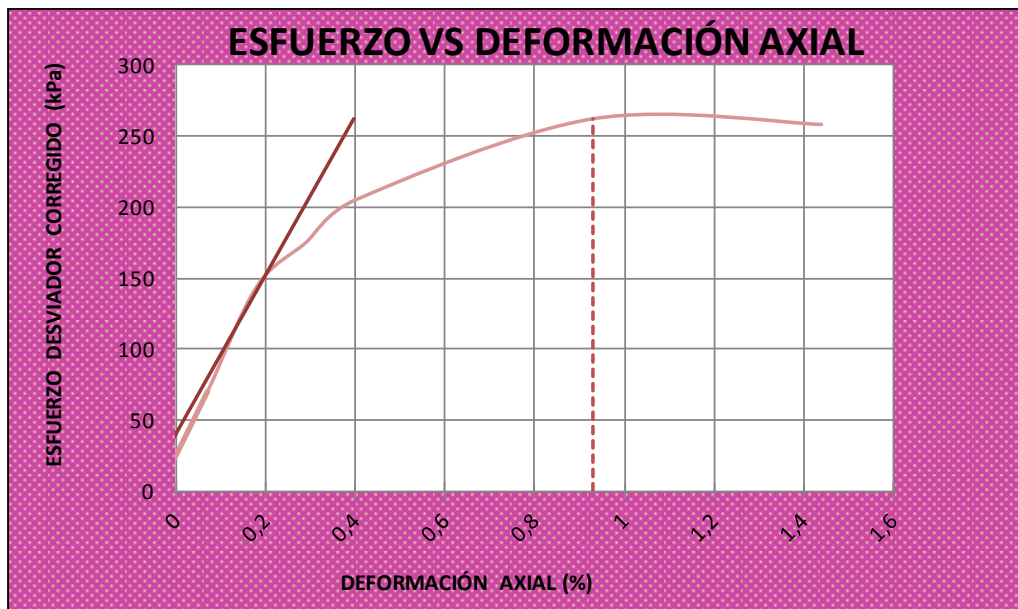
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 1 - A

Denominación original Muestra#: 306371 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	262,20	50,90	313,10	182,00	131,10

H _{PROMEDIO}	140,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5110,25 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,60 KN/m ³
γ _{SECA}	14,29 KN/m ³
P _{MUESTRA}	950,48 g
n Porosidad	45,36 %
GS	2,62
H%	30,20 %
A Grado Aireación	5,20 %

E
[MPa]
55,96

ε
[m/m]
0,0093

S
[%]
94,80

e
Relación vacíos
0,83

φ
[°]
24,66

C
[KPa]
61,38

Elaboración Propia

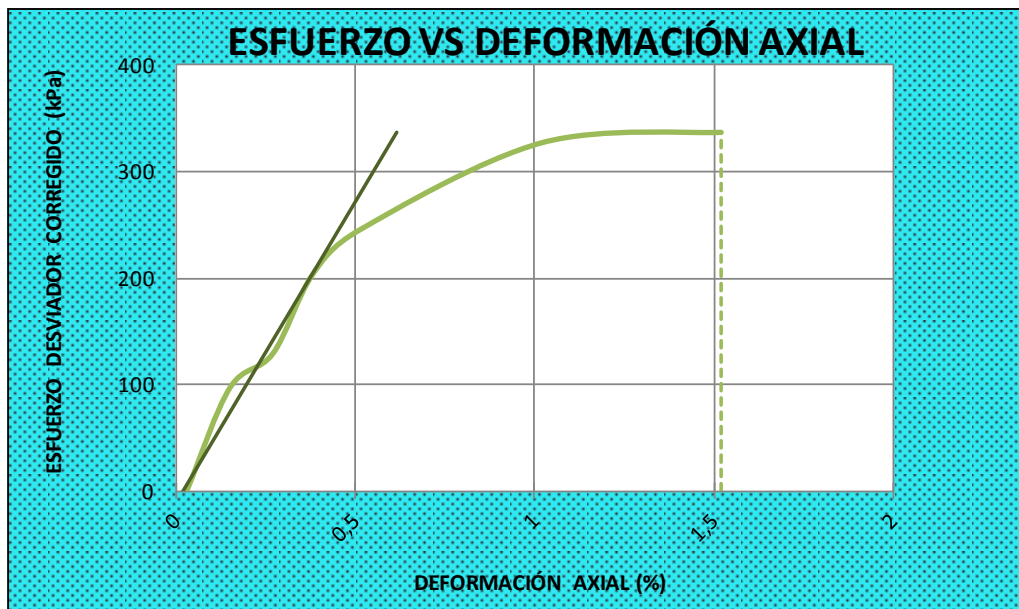
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 1 - B

Denominación original Muestra#: 306371 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	336,90	99,30	436,20	267,75	168,45

H _{PROMEDIO}	140,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5110,25 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,60 KN/m ³
γ _{SECA}	14,29 KN/m ³
P _{MUESTRA}	950,48 g
n Porosidad	45,36 %
GS	2,62
H%	30,20 %
A _{Grado Aireación}	5,20 %

E
[MPa]
56,56

ϵ
[m/m]
0,0152

S
[%]
94,80

e
Relación vacíos
0,83

ϕ
[°]
24,66

C
[KPa]
61,38

Elaboración Propia

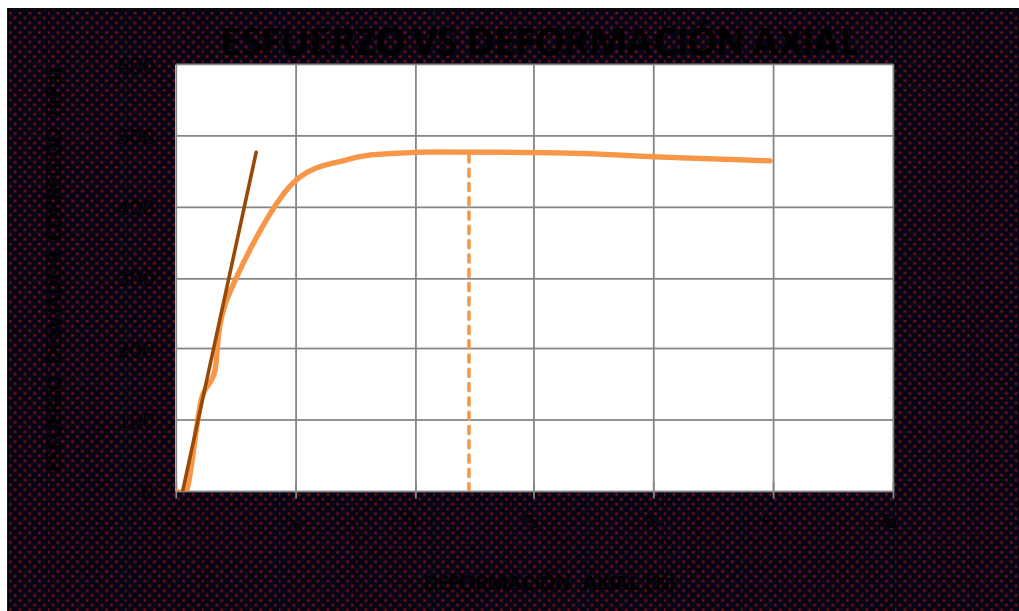
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 1 - C

Denominación original Muestra#: 306371 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	477,40	200,40	677,80	439,10	238,70

H _{PROMEDIO}	140,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,10 mm
A _{PROMEDIO}	3642,37 mm ²
V _{PROMEDIO}	5110,25 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,60 KN/m ³
γ _{SECA}	14,29 KN/m ³
P _{MUESTRA}	950,48 g
n Porosidad	45,36 %
GS	2,62
H%	30,20 %
A _{Grado Aireación}	5,20 %

E
[MPa]
77,66

ϵ
[m/m]
0,0245

S
[%]
94,80

e
Relación vacíos
0,83

φ
[°]
24,66

C
[KPa]
61,38

Elaboración Propia

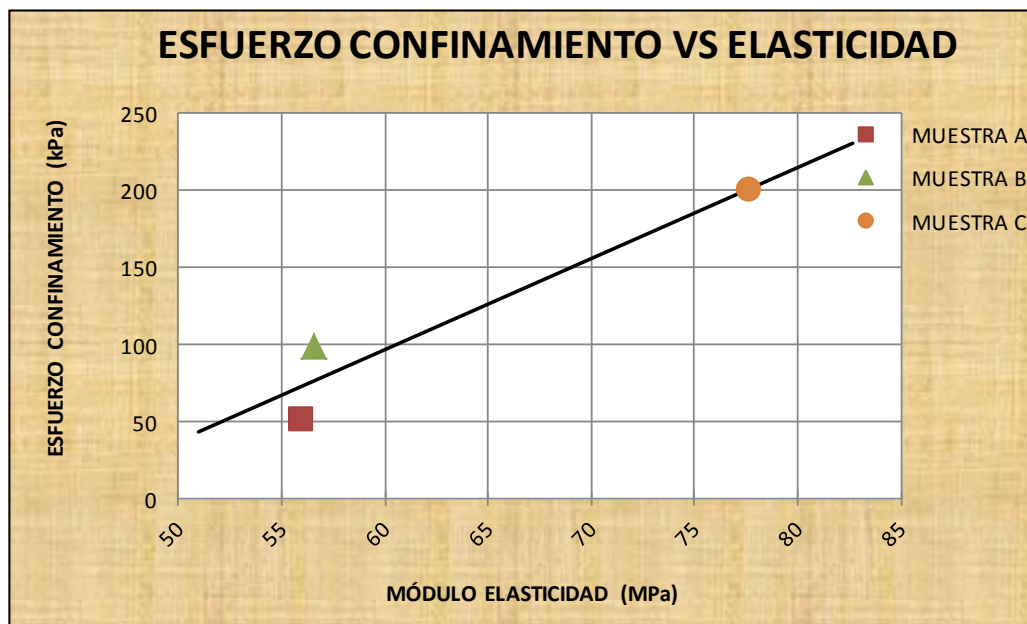
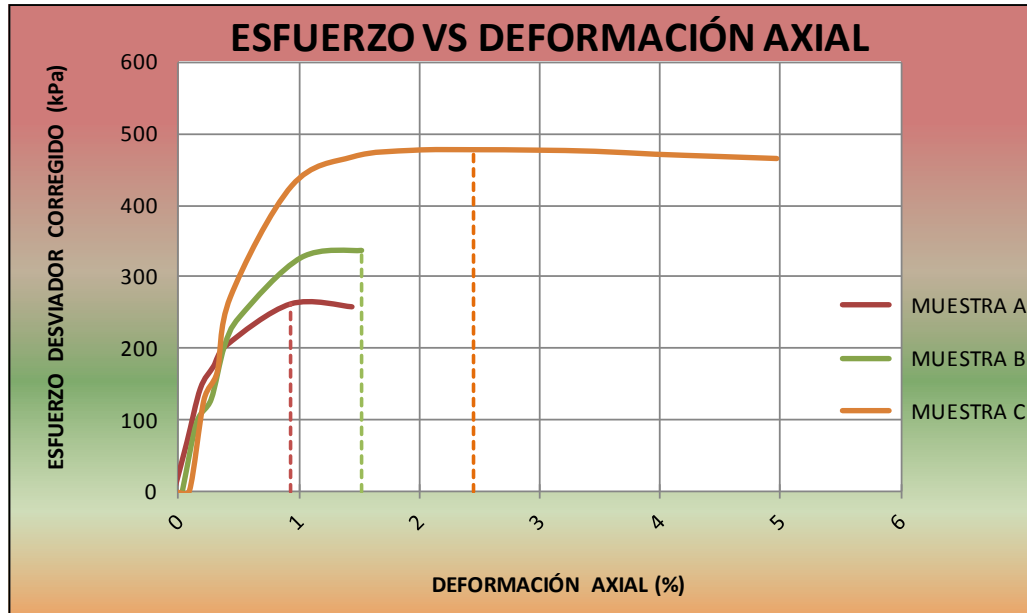
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 1

Denominación original Muestra#: 306371

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$5,901 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-257,20 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 1

Denominación original Muestra#: 306371

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POCA PRESENCIA DE POMEZ
COLOR CAFE OSCURO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	262,20	50,90	313,10	182,00	131,10
B	336,90	99,30	436,20	267,75	168,45
C	477,40	200,40	677,80	439,10	238,70

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

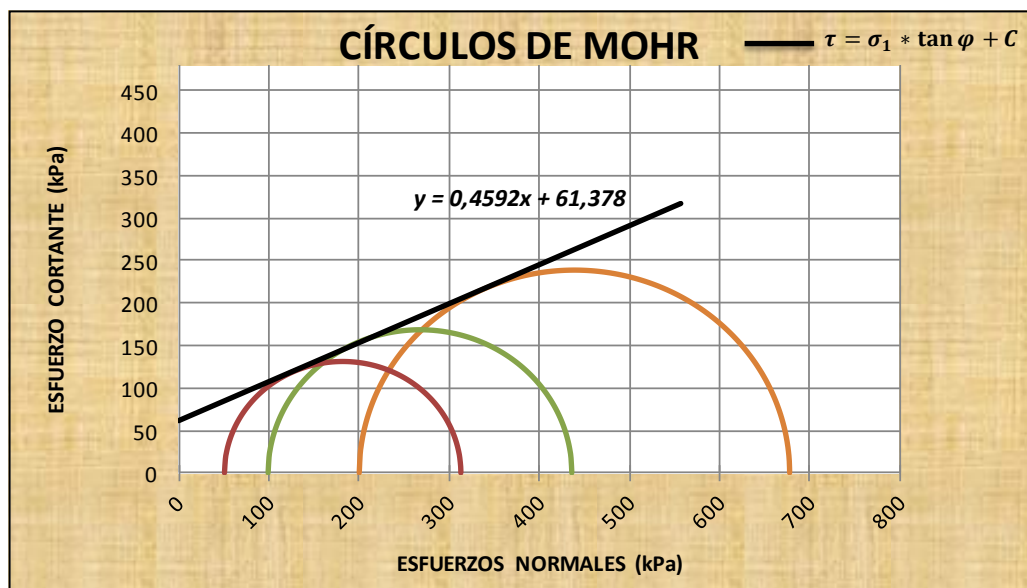
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 55,779

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4173

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9998

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 61,378

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 24.66°



Elaboración Propia

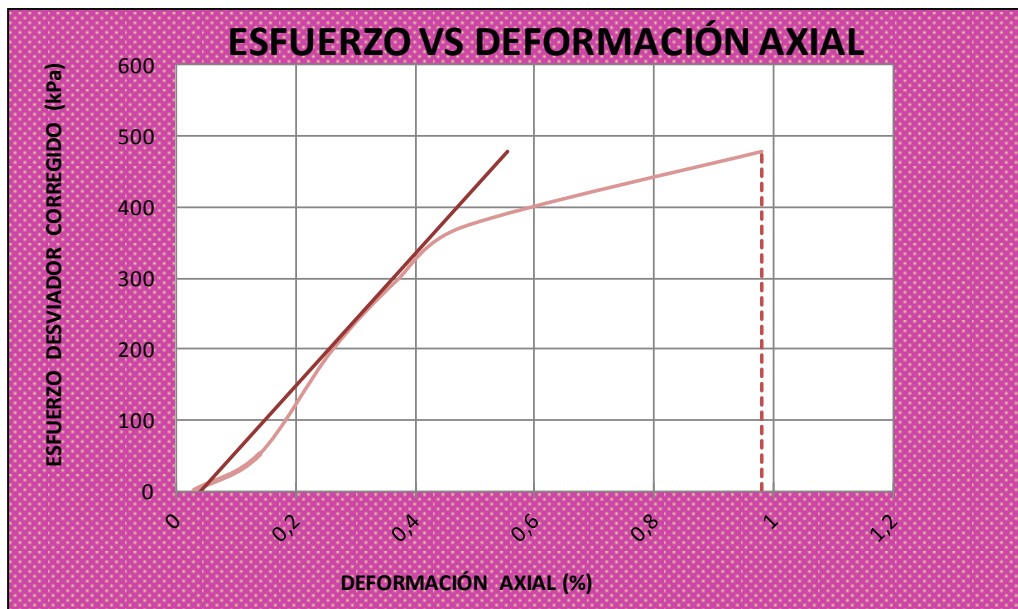
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 2 - A

Denominación original Muestra#: 306372 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	478,30	50,00	528,30	289,15	239,15

H _{PROMEDIO}	139,60 mm
D _{PROMEDIO}	69,07 mm
A _{PROMEDIO}	3746,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	5230,63 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,24 KN/m ³
P _{MUESTRA}	936,37 g
n Porosidad	49,49 %
GS	2,62
H%	35,20 %
A _{Grado Aireación}	5,90 %

E
[MPa]
93,22

ϵ
[m/m]
0,0098

S
[%]
94,10

e
Relación vacíos
0,98

ϕ
[°]
32,38

C
[KPa]
101,45

Elaboración Propia

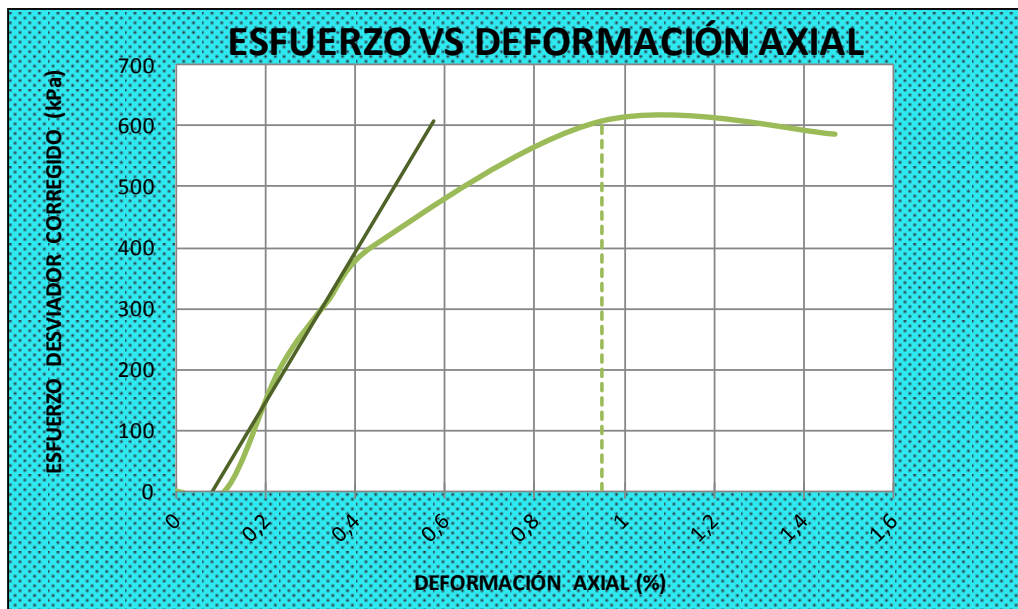
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 2 - B

Denominación original Muestra#: 306372 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	608,20	99,90	708,10	404,00	304,10

H _{PROMEDIO}	139,60 mm
D _{PROMEDIO}	69,07 mm
A _{PROMEDIO}	3746,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	5230,63 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,24 KN/m ³
P _{MUESTRA}	936,37 g
n Porosidad	49,49 %
GS	2,62
H%	35,20 %
A _{Grado Aireación}	5,90 %

E
[MPa]
123,35

ϵ
[m/m]
0,0095

S
[%]
94,10

e
Relación vacíos
0,98

ϕ
[°]
32,38

C
[KPa]
101,45

Elaboración Propia

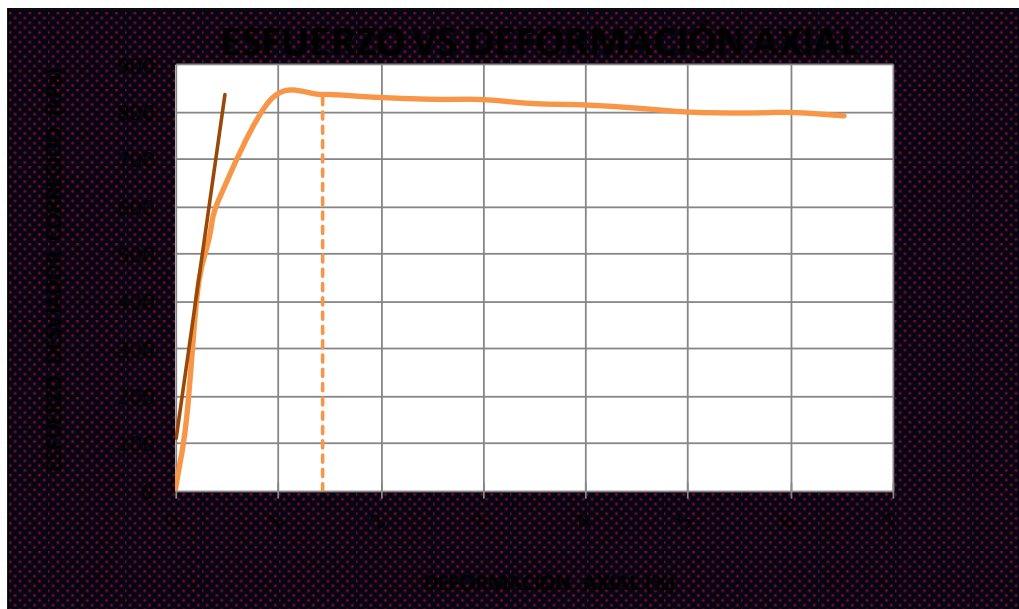
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 2 - C

Denominación original Muestra#: 306372 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	837,80	204,70	1042,50	623,60	418,90

H _{PROMEDIO}	139,60 mm
D _{PROMEDIO}	69,07 mm
A _{PROMEDIO}	3746,87 mm ²
V _{PROMEDIO}	5230,63 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,24 KN/m ³
P _{MUESTRA}	936,37 g
n Porosidad	49,49 %
GS	2,62
H%	35,20 %
A _{Grado Aireación}	5,90 %

E
[MPa]
152,73

ϵ
[m/m]
0,0143

S
[%]
94,10

e
Relación vacíos
0,98

ϕ
[°]
32,38

C
[KPa]
101,45

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

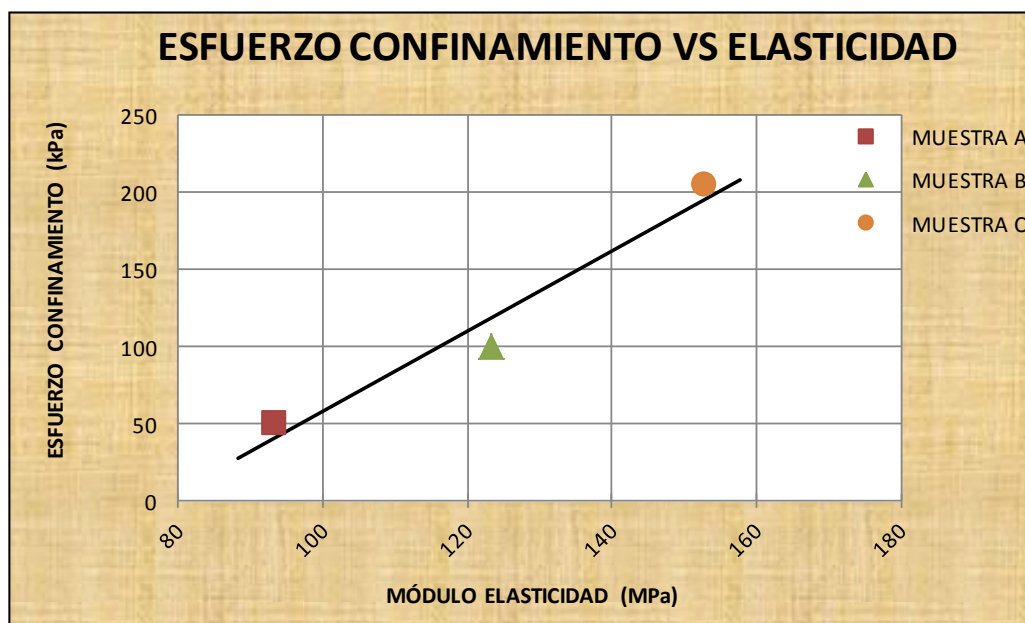
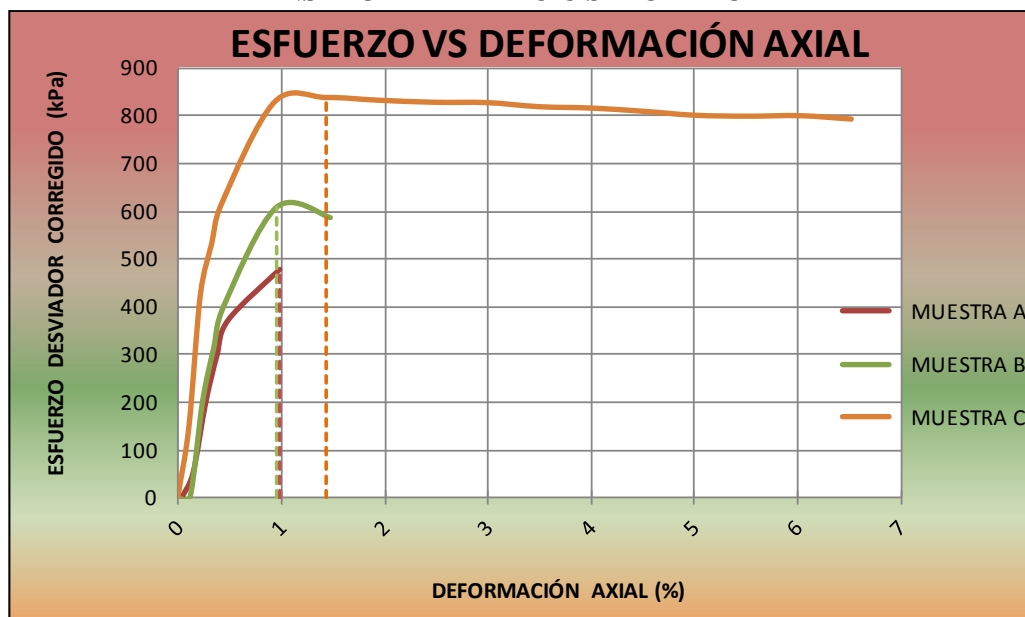
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 2

Denominación original Muestra#: 306372

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$2,595 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-201,29 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 2

Denominación original Muestra#: 306372

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENO ARCILLOSO CON POMEZ CON
OXIDACIONES ROJIZAS COLOR CAFE PARDUZCO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	478,30	50,00	528,30	289,15	239,15
B	608,20	99,90	708,10	404,00	304,10
C	837,80	204,70	1042,50	623,60	418,90

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

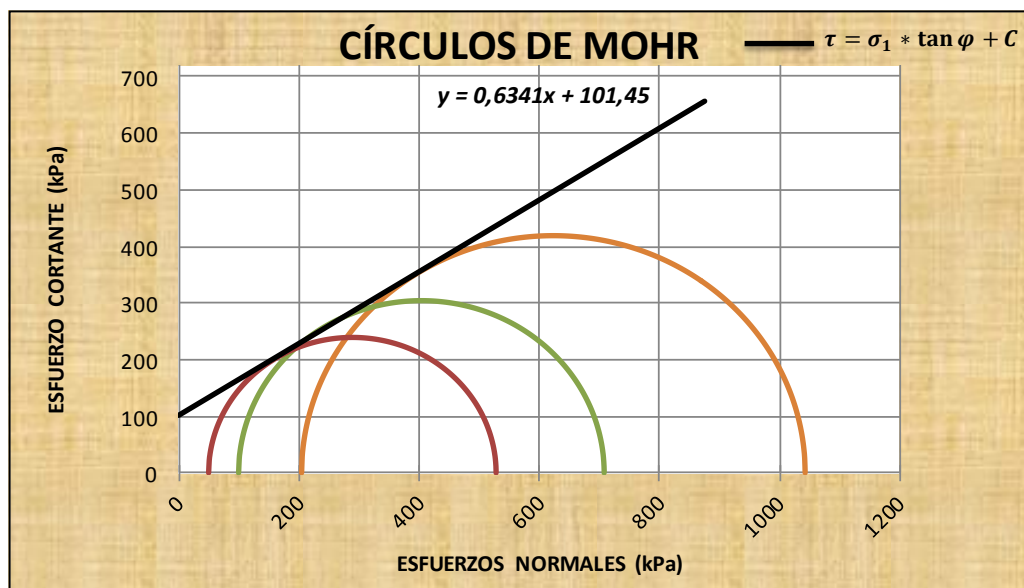
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 85,677

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5355

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9996

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 101,448

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 32.38°



Elaboración Propia

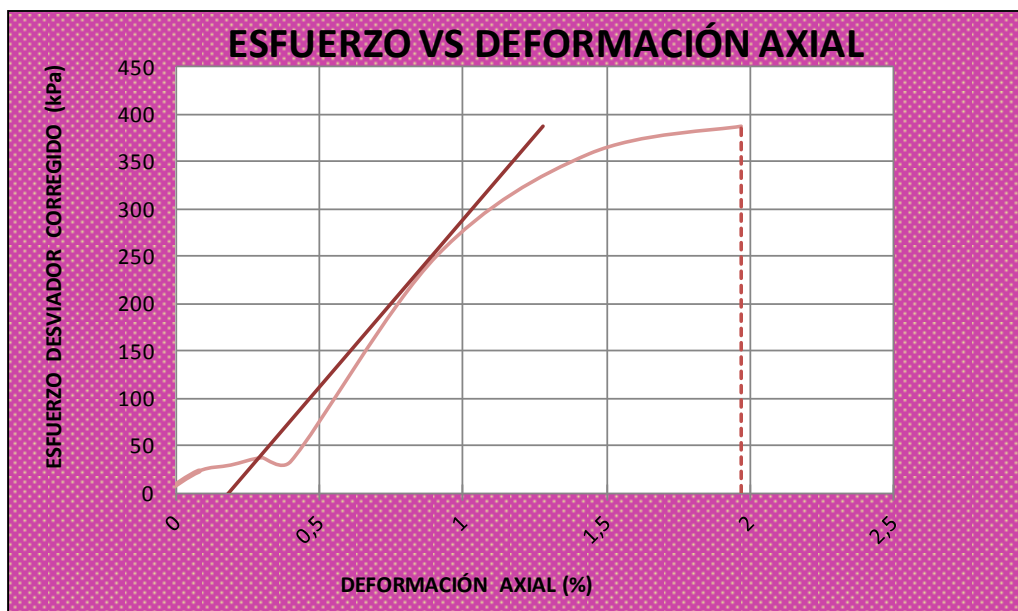
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 3 - A

Denominación original Muestra#: 306373 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	387,60	49,80	437,40	243,60	193,80

H _{PROMEDIO}	141,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,17 mm
A _{PROMEDIO}	3649,86 mm ²
V _{PROMEDIO}	5153,61 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,90 KN/m ³
γ _{SECA}	12,19 KN/m ³
P _{MUESTRA}	873,26 g
n Porosidad	53,92 %
GS	2,65
H%	38,60 %
A _{Grado Aireación}	12,40 %

E
[MPa]
35,38

ϵ
[m/m]
0,0197

S
[%]
87,60

e
Relación vacíos
1,17

φ
[°]
29,09

C
[KPa]
88,81

Elaboración Propia

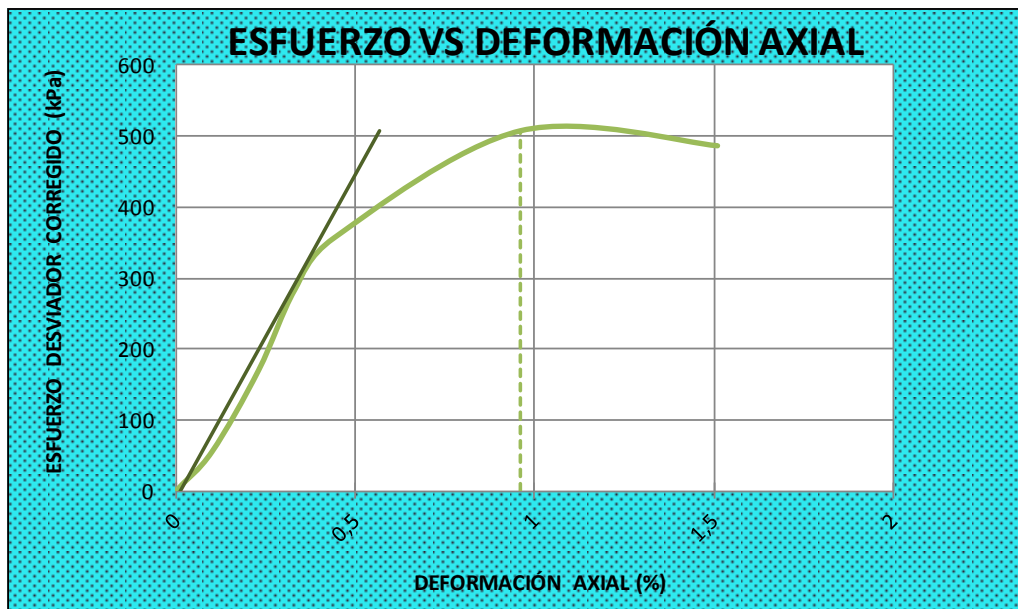
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 3 - B

Denominación original Muestra#: 306373 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	507,50	101,10	608,60	354,85	253,75

H _{PROMEDIO}	141,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,17 mm
A _{PROMEDIO}	3649,86 mm ²
V _{PROMEDIO}	5153,61 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,90 KN/m ³
γ _{SECA}	12,19 KN/m ³
P _{MUESTRA}	873,26 g
n Porosidad	53,92 %
GS	2,65
H%	38,60 %
A _{Grado Aireación}	12,40 %

E
[MPa]
91,38

ϵ
[m/m]
0,0096

S
[%]
87,60

e
Relación vacíos
1,17

ϕ
[°]
29,09

C
[KPa]
88,81

Elaboración Propia

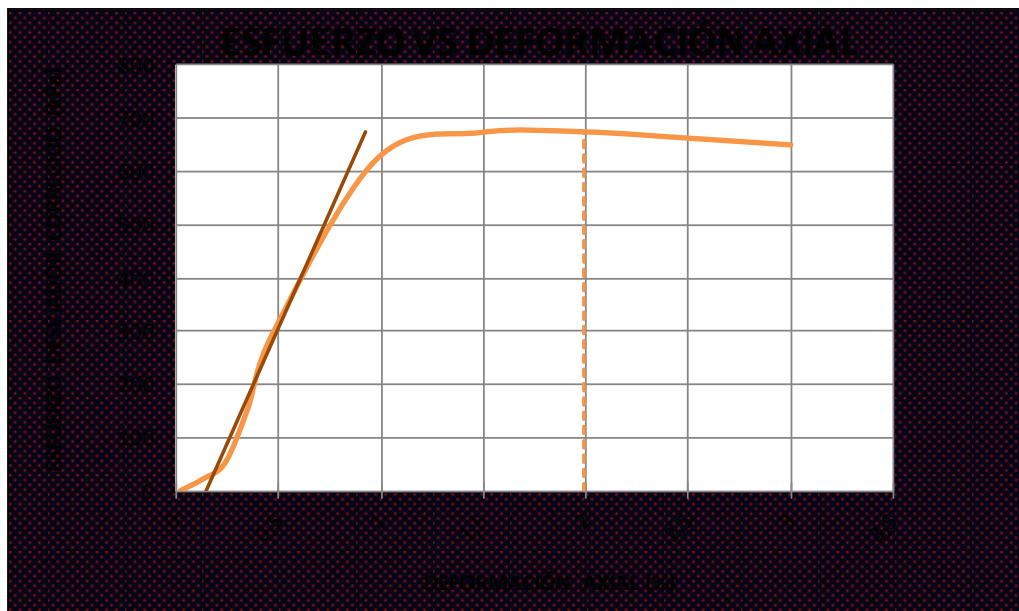
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 3 - C

Denominación original Muestra#: 306373 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	674,70	199,70	874,40	537,05	337,35

H _{PROMEDIO}	141,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,17 mm
A _{PROMEDIO}	3649,86 mm ²
V _{PROMEDIO}	5153,61 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,90 KN/m ³
γ _{SECA}	12,19 KN/m ³
P _{MUESTRA}	873,26 g
n Porosidad	53,92 %
GS	2,65
H%	38,60 %
A _{Grado Aireación}	12,40 %

E
[MPa]
86,73

ε
[m/m]
0,0199

S
[%]
87,60

e
Relación vacíos
1,17

φ
[°]
29,09

C
[KPa]
88,81

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

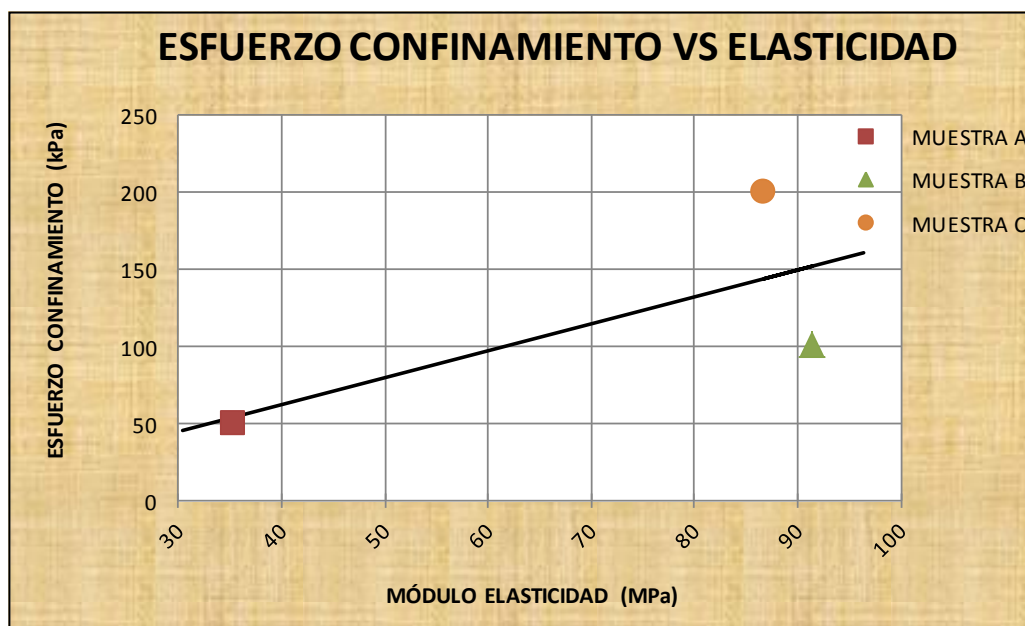
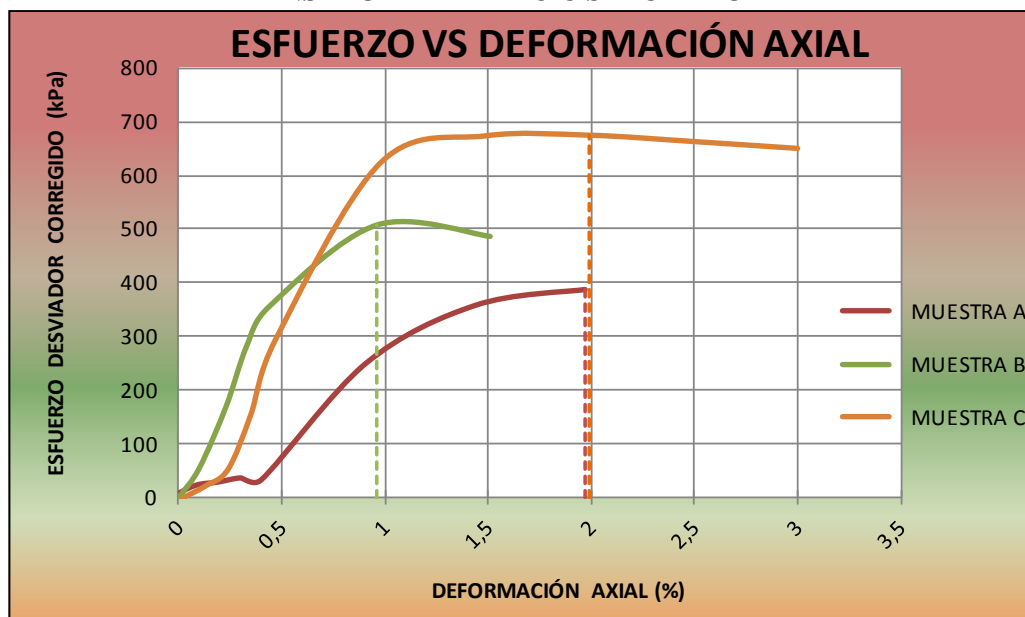
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 3

Denominación original Muestra#: 306373

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,745 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-7,31 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

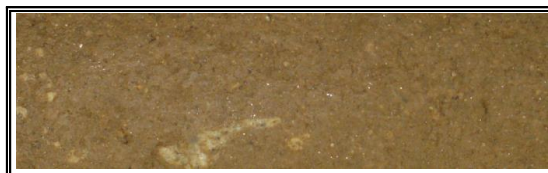
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 3

Denominación original Muestra#: 306373

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ Y GRAVILLA COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	387,60	49,80	437,40	243,60	193,80
B	507,50	101,10	608,60	354,85	253,75
C	674,70	199,70	874,40	537,05	337,35

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

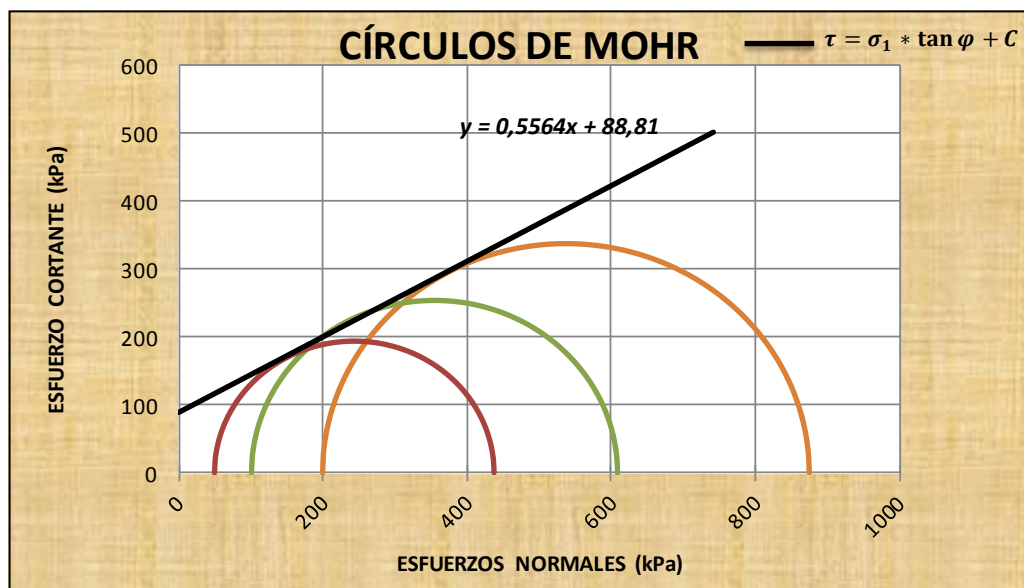
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 77,606

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4862

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9981

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 88,810

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 29.09°



Elaboración Propia

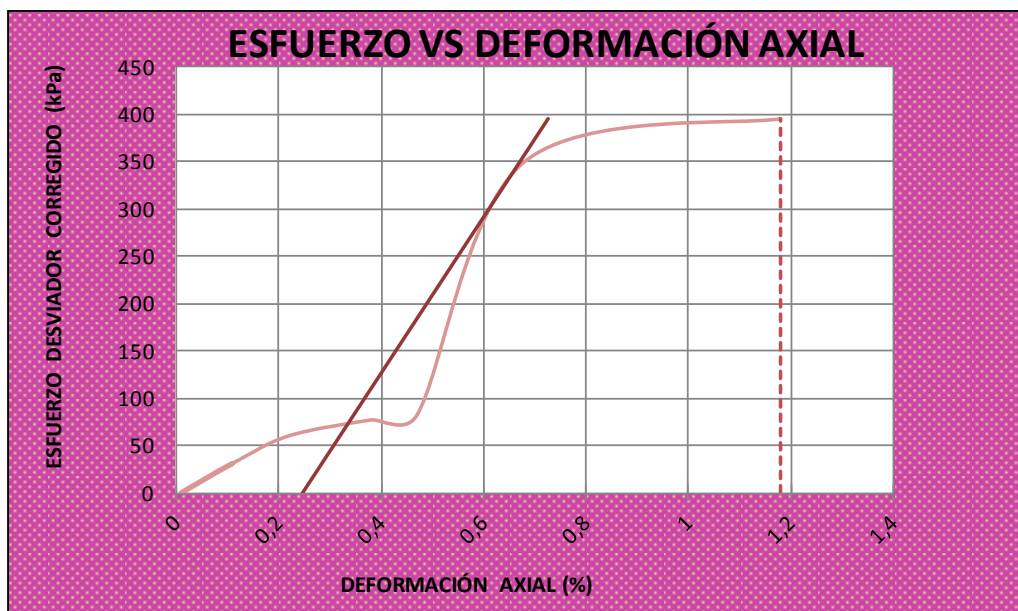
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 4 - A

Denominación original Muestra#: 306374 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	395,50	50,90	446,40	248,65	197,75

H _{PROMEDIO}	141,90 mm
D _{PROMEDIO}	68,57 mm
A _{PROMEDIO}	3692,82 mm ²
V _{PROMEDIO}	5240,11 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,60 KN/m ³
γ _{SECA}	12,76 KN/m ³
P _{MUESTRA}	924,50 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,59
H%	37,90 %
A Grado Aireación	4,20 %

E
[MPa]
82,52

ϵ
[m/m]
0,0118

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
31,91

C
[KPa]
79,34

Elaboración Propia

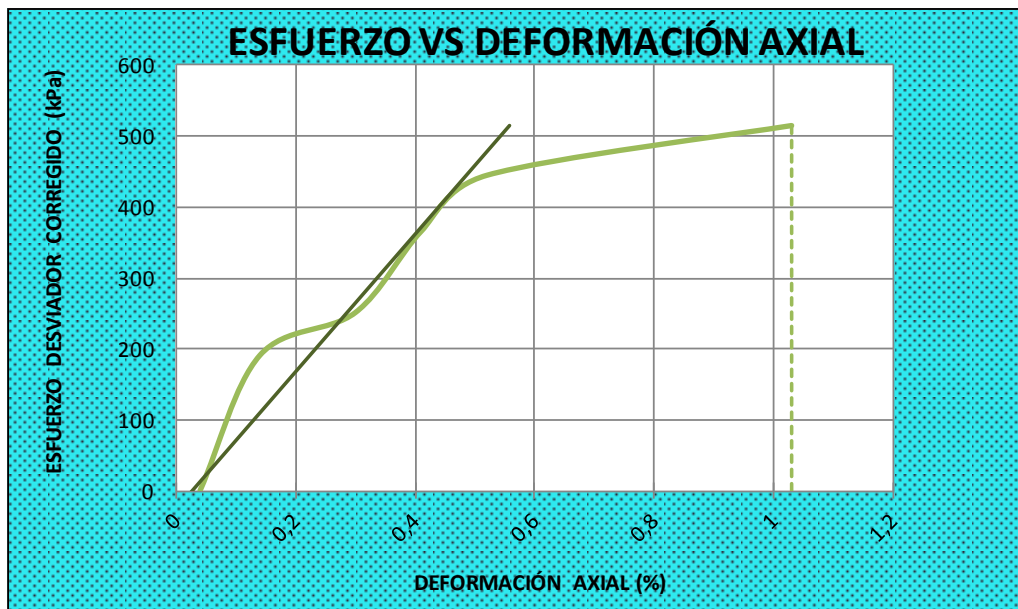
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 4 - B

Denominación original Muestra#: 306374 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	514,90	99,20	614,10	356,65	257,45

H _{PROMEDIO}	141,90 mm
D _{PROMEDIO}	68,57 mm
A _{PROMEDIO}	3692,82 mm ²
V _{PROMEDIO}	5240,11 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,60 KN/m ³
γ _{SECA}	12,76 KN/m ³
P _{MUESTRA}	924,50 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,59
H%	37,90 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
96,95

ϵ
[m/m]
0,0103

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
1,02

ϕ
[°]
31,91

C
[KPa]
79,34

Elaboración Propia

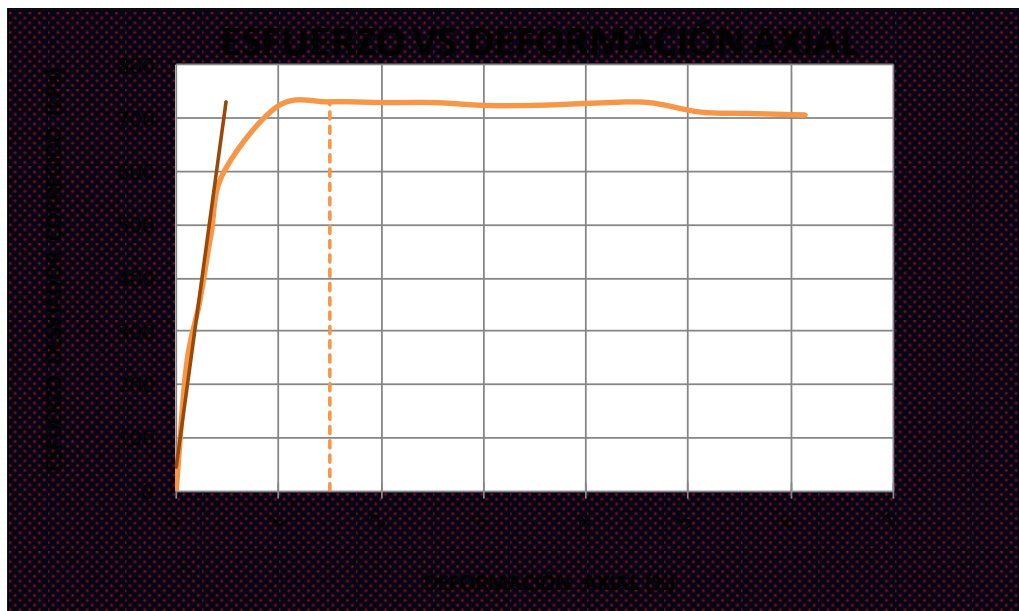
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 4 - C

Denominación original Muestra#: 306374 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	731,10	199,60	930,70	565,15	365,55

H _{PROMEDIO}	141,90 mm
D _{PROMEDIO}	68,57 mm
A _{PROMEDIO}	3692,82 mm ²
V _{PROMEDIO}	5240,11 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,60 KN/m ³
γ _{SECA}	12,76 KN/m ³
P _{MUESTRA}	924,50 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,59
H%	37,90 %
A _{Grado Aireación}	4,20 %

E
[MPa]
141,11

ϵ
[m/m]
0,0150

S
[%]
95,80

e
Relación vacíos
1,02

ϕ
[°]
31,91

C
[KPa]
79,34

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

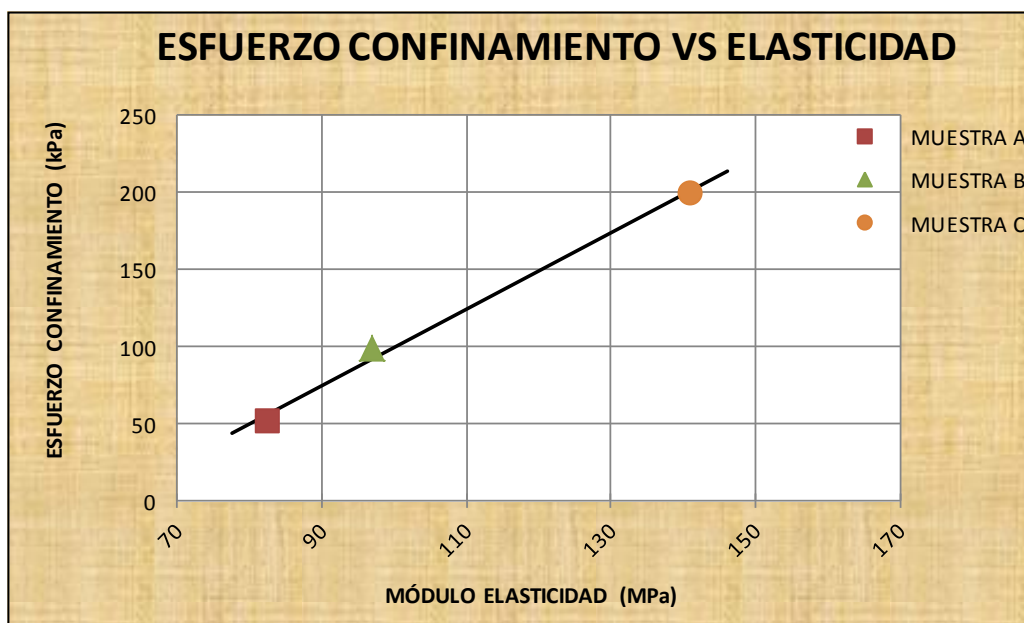
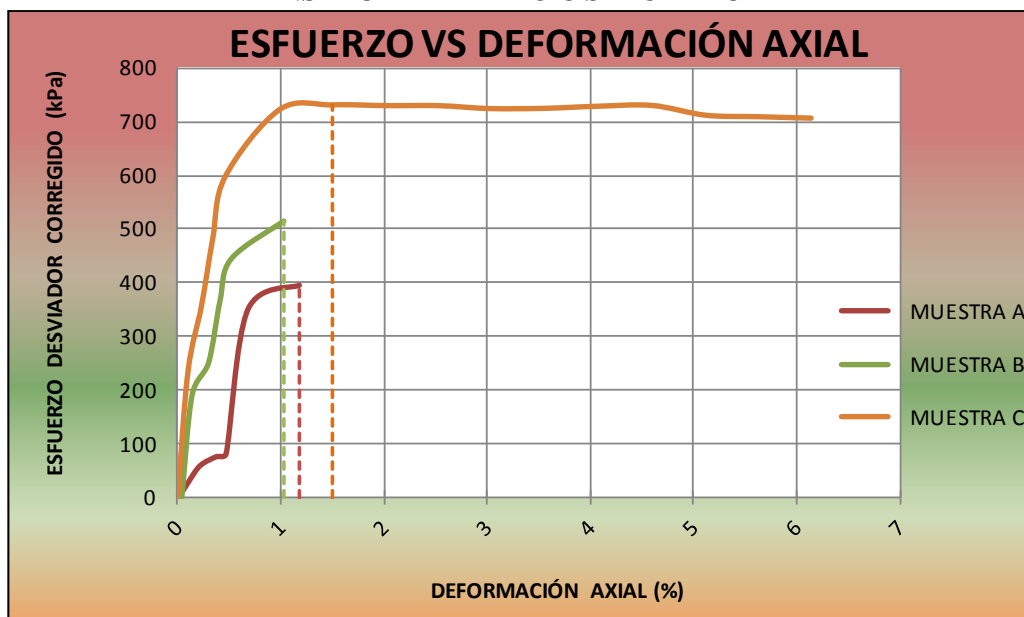
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 4

Denominación original Muestra#: 306374

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$2,476 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-147,99 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 4

Denominación original Muestra#: 306374

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ OXIDACIONES ROJIZAS
COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	395,50	50,90	446,40	248,65	197,75
B	514,90	99,20	614,10	356,65	257,45
C	731,10	199,60	930,70	565,15	365,55

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

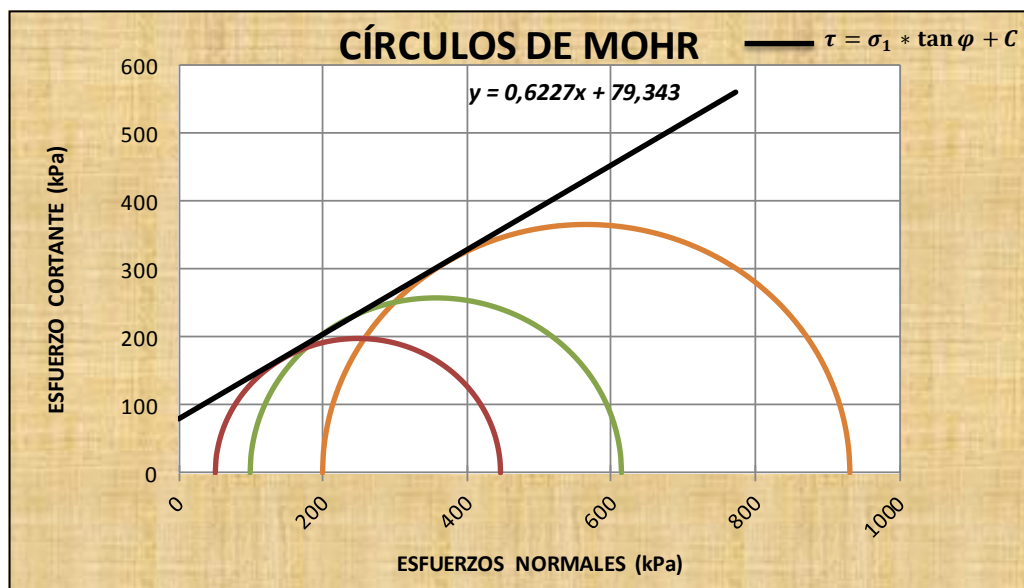
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 67,352

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5286

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9997

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 79,343

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 31,91°



Elaboración Propia

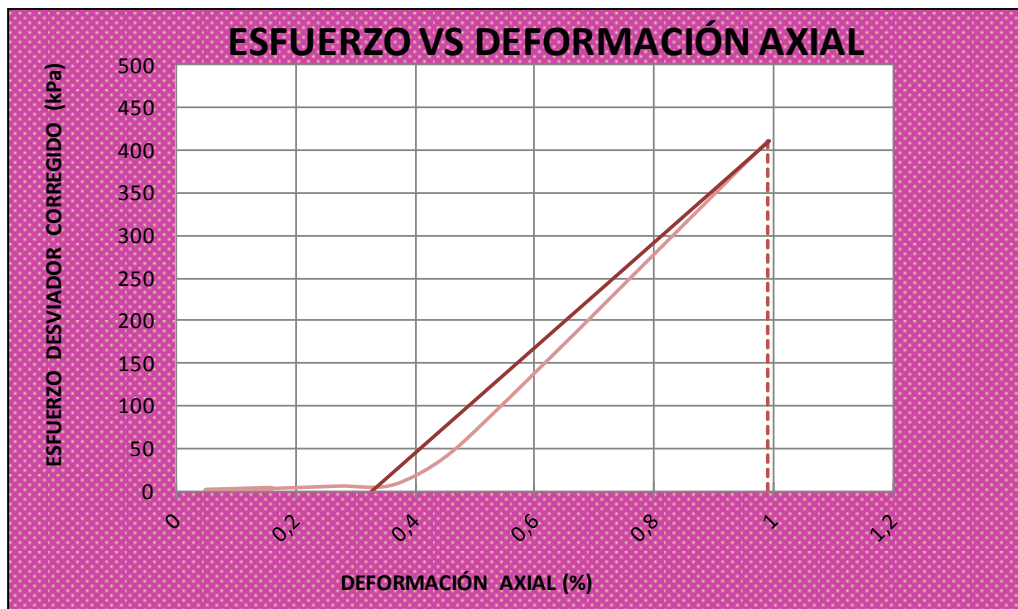
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 5 - A

Denominación original Muestra#: 306375 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	411,90	50,90	462,80	256,85	205,95

H _{PROMEDIO}	140,08 mm
D _{PROMEDIO}	68,83 mm
A _{PROMEDIO}	3720,88 mm ²
V _{PROMEDIO}	5212,21 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,56 KN/m ³
P _{MUESTRA}	887,70 g
n Porosidad	54,75 %
GS	2,56
H%	47,10 %
A _{Grado Aireación}	0,40 %

E
[MPa]
61,85

ϵ
[m/m]
0,0099

S
[%]
99,60

e
Relación vacíos
1,21

φ
[°]
31,34

C
[KPa]
90,57

Elaboración Propia

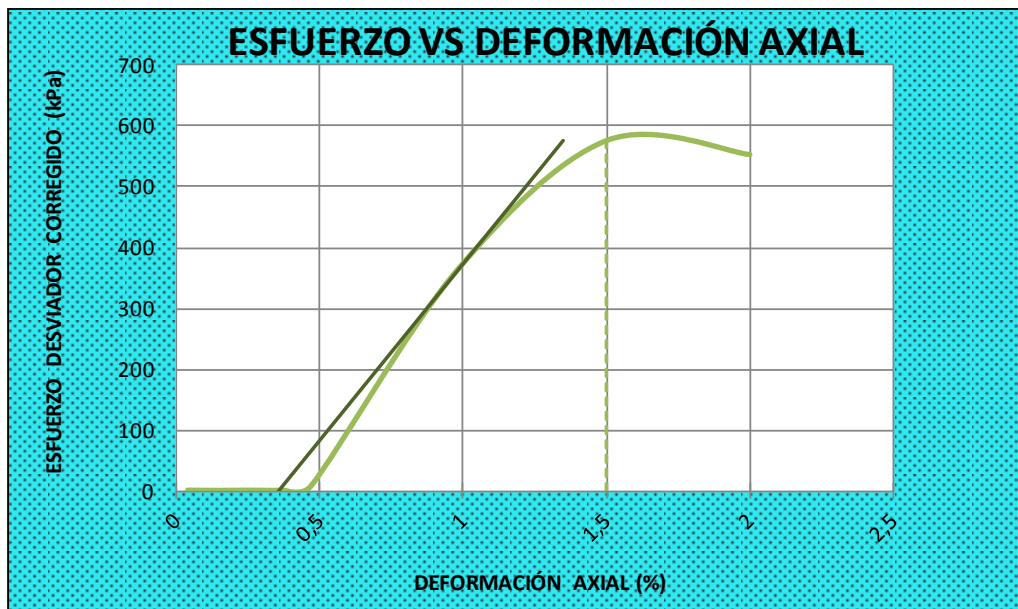
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 5 - B

Denominación original Muestra#: 306375 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	576,00	100,50	676,50	388,50	288,00

H _{PROMEDIO}	140,08 mm
D _{PROMEDIO}	68,83 mm
A _{PROMEDIO}	3720,88 mm ²
V _{PROMEDIO}	5212,21 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,56 KN/m ³
P _{MUESTRA}	887,70 g
n Porosidad	54,75 %
GS	2,56
H%	47,10 %
A _{Grado Aireación}	0,40 %

E
[MPa]
58,09

ϵ
[m/m]
0,0150

S
[%]
99,60

e
Relación vacíos
1,21

ϕ
[°]
31,34

C
[KPa]
90,57

Elaboración Propia

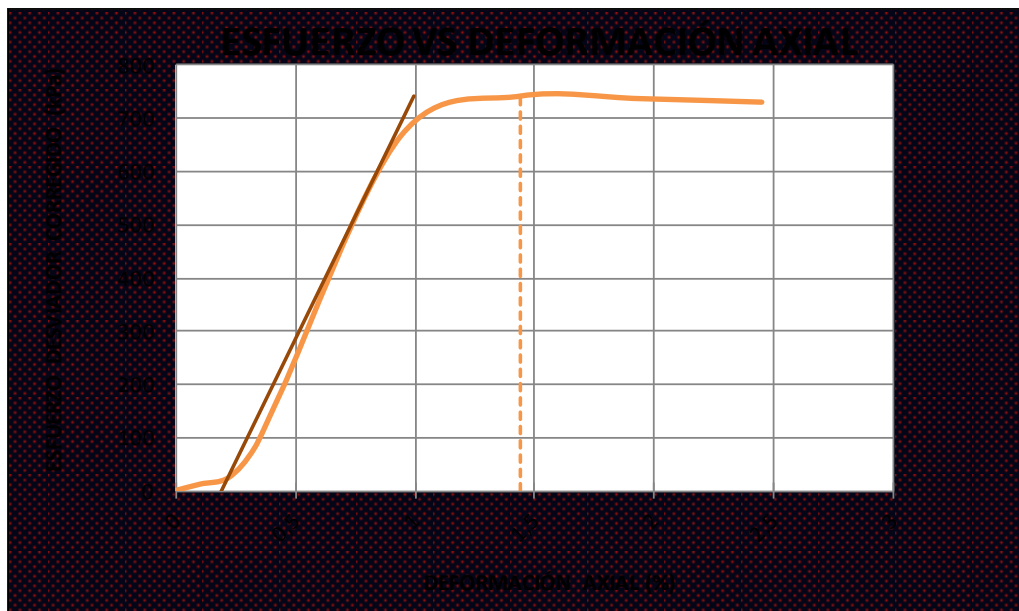
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 5 - C

Denominación original Muestra#: 306375 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	742,00	200,50	942,50	571,50	371,00

H _{PROMEDIO}	140,08 mm
D _{PROMEDIO}	68,83 mm
A _{PROMEDIO}	3720,88 mm ²
V _{PROMEDIO}	5212,21 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,00 KN/m ³
γ _{SECA}	11,56 KN/m ³
P _{MUESTRA}	887,70 g
n Porosidad	54,75 %
GS	2,56
H%	47,10 %
A _{Grado Aireación}	0,40 %

E
[MPa]
92,15

ϵ
[m/m]
0,0144

S
[%]
99,60

e
Relación vacíos
1,21

φ
[°]
31,34

C
[KPa]
90,57

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

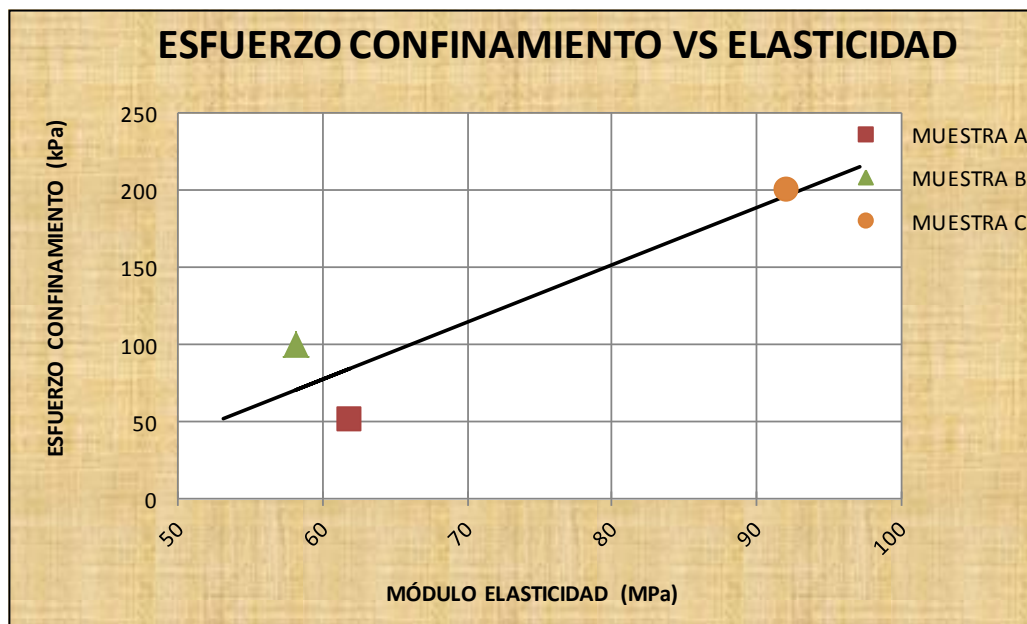
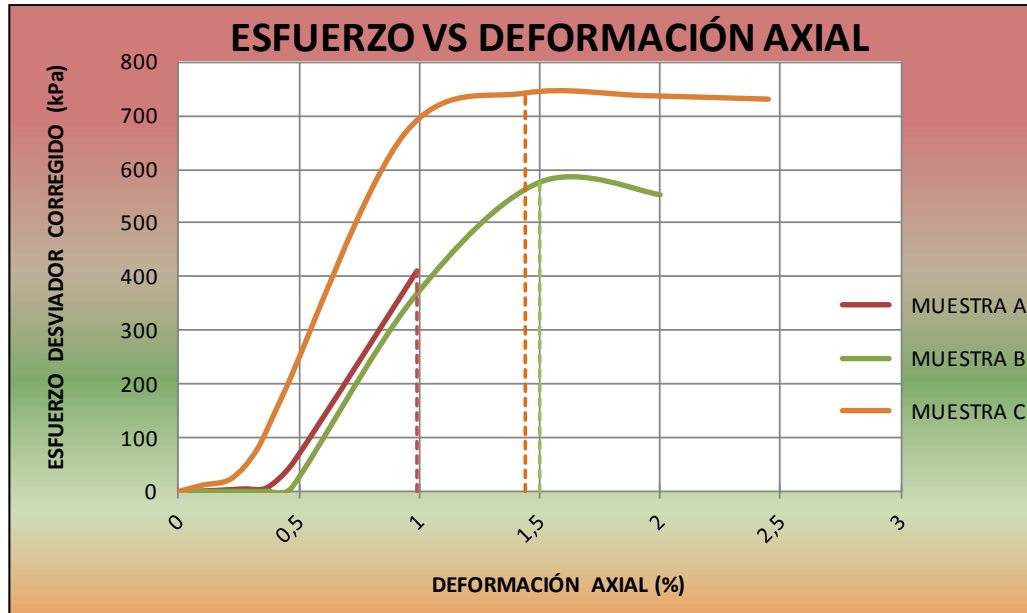
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 5

Denominación original Muestra#: 306375

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$3,705 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-144,61 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 5

Denominación original Muestra#: 306375

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARCILLO ARENOSO CON PINTAS NEGRAS
OXIDACIONES ROJIZAS COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	411,90	50,90	462,80	256,85	205,95
B	576,00	100,50	676,50	388,50	288,00
C	742,00	200,50	942,50	571,50	371,00

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

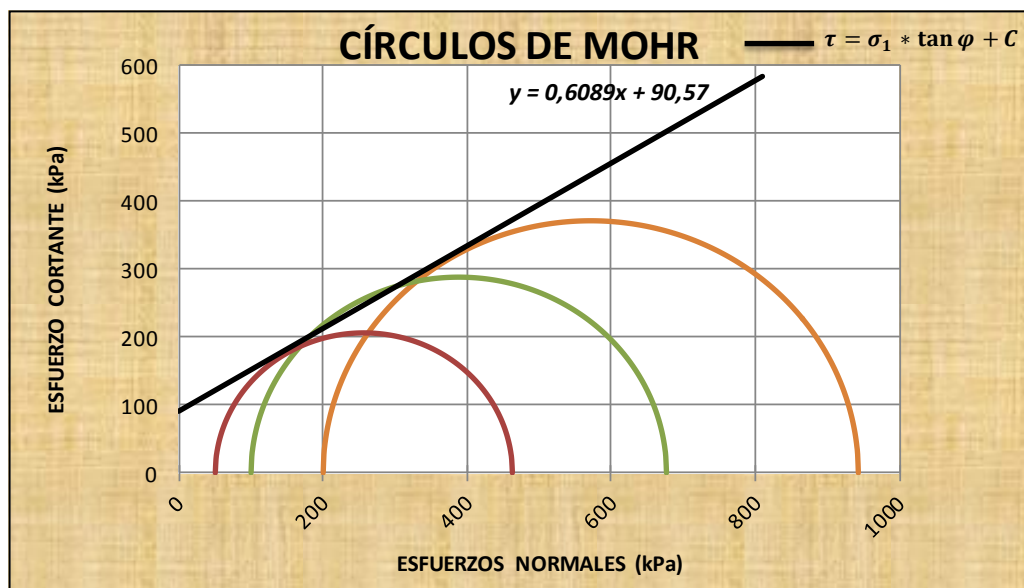
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 77,356

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5201

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9918

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 90,570

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 31.34°



Elaboración Propia

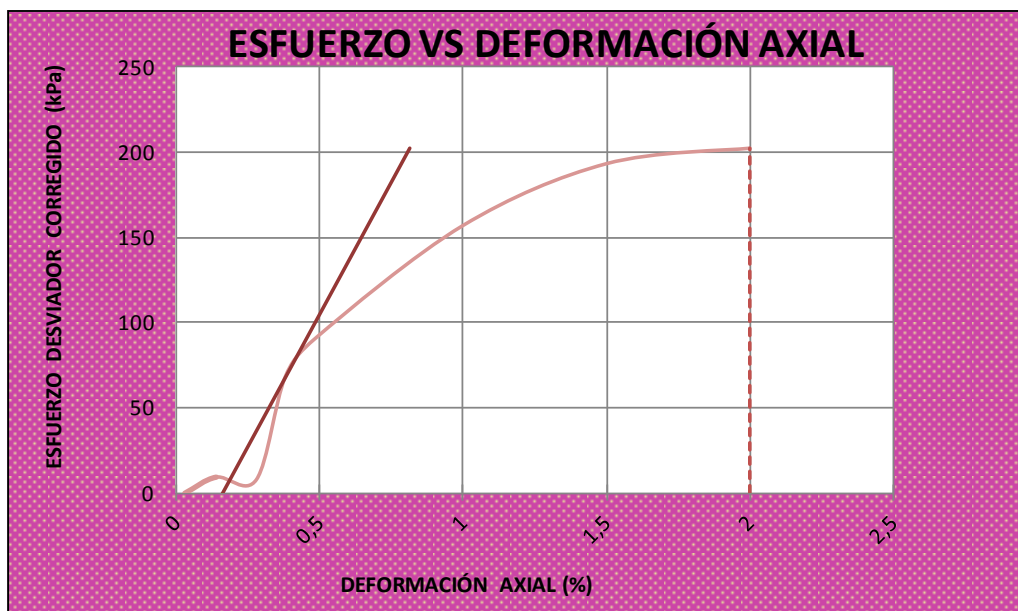
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 6 - A

Denominación original Muestra#: 306376 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	202,40	50,60	253,00	151,80	101,20

H _{PROMEDIO}	140,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5159,40 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,61 KN/m ³
P _{MUESTRA}	902,32 g
n Porosidad	51,22 %
GS	2,58
H%	38,80 %
A Grado Aireación	4,50 %

E
[MPa]
31,05

ε
[m/m]
0,0200

S
[%]
95,50

e
Relación vacíos
1,05

φ
[°]
21,72

C
[KPa]
49,89

Elaboración Propia

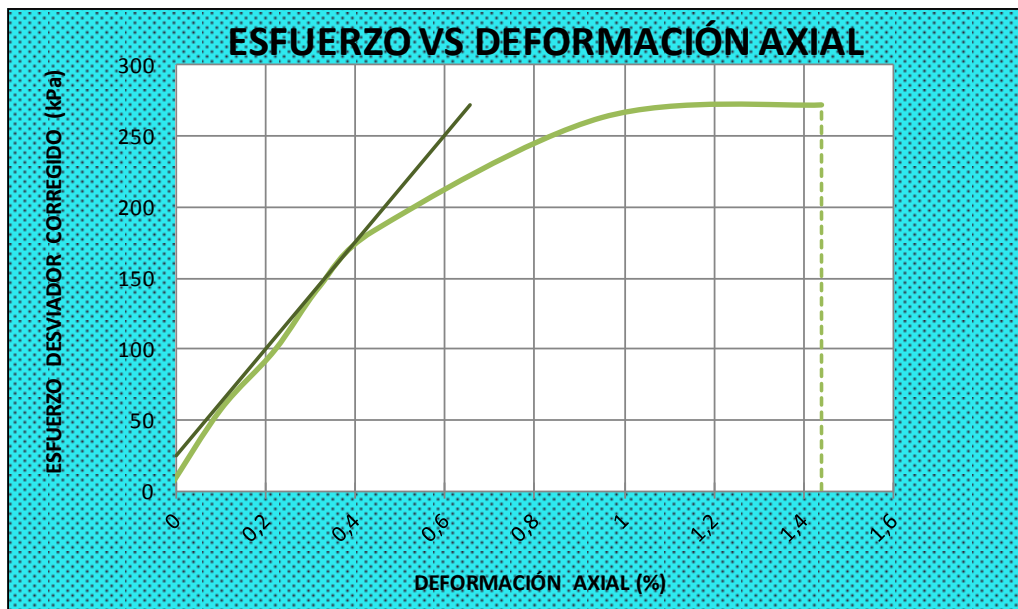
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 6 - B

Denominación original Muestra#: 306376 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	271,90	100,70	372,60	236,65	135,95

H _{PROMEDIO}	140,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5159,40 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,61 KN/m ³
P _{MUESTRA}	902,32 g
n Porosidad	51,22 %
GS	2,58
H%	38,80 %
A _{Grado Aireación}	4,50 %

E
[MPa]
37,70

ϵ
[m/m]
0,0144

S
[%]
95,50

e
Relación vacíos
1,05

φ
[°]
21,72

C
[KPa]
49,89

Elaboración Propia

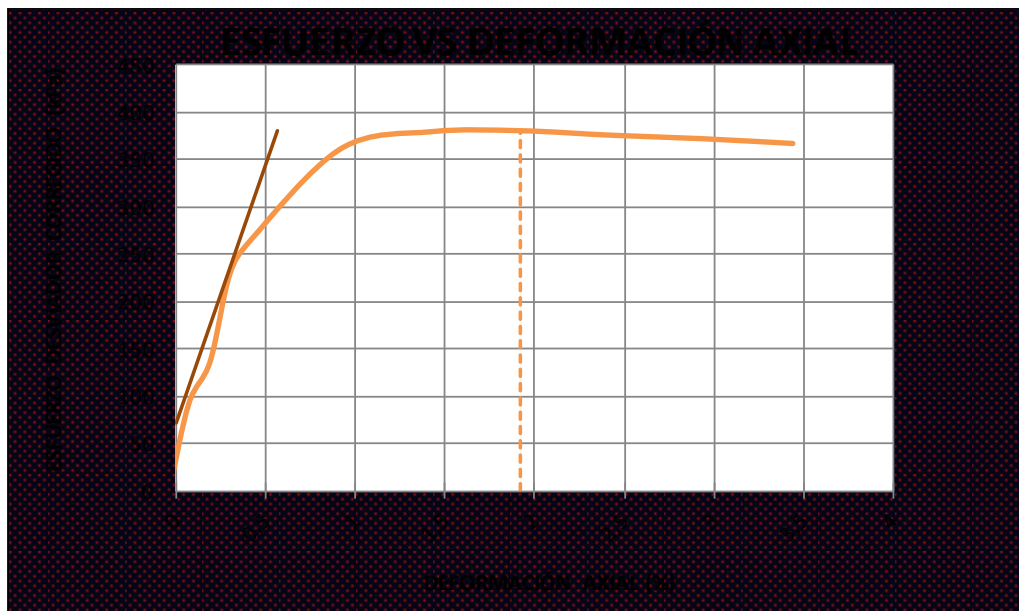
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 6 - C

Denominación original Muestra#: 306376 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	380,60	200,70	581,30	391,00	190,30

H _{PROMEDIO}	140,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,50 mm
A _{PROMEDIO}	3685,28 mm ²
V _{PROMEDIO}	5159,40 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,61 KN/m ³
P _{MUESTRA}	902,32 g
n Porosidad	51,22 %
GS	2,58
H%	38,80 %
A _{Grado Aireación}	4,50 %

E
[MPa]
54,71

ϵ
[m/m]
0,0192

S
[%]
95,50

e
Relación vacíos
1,05

ϕ
[°]
21,72

C
[KPa]
49,89

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

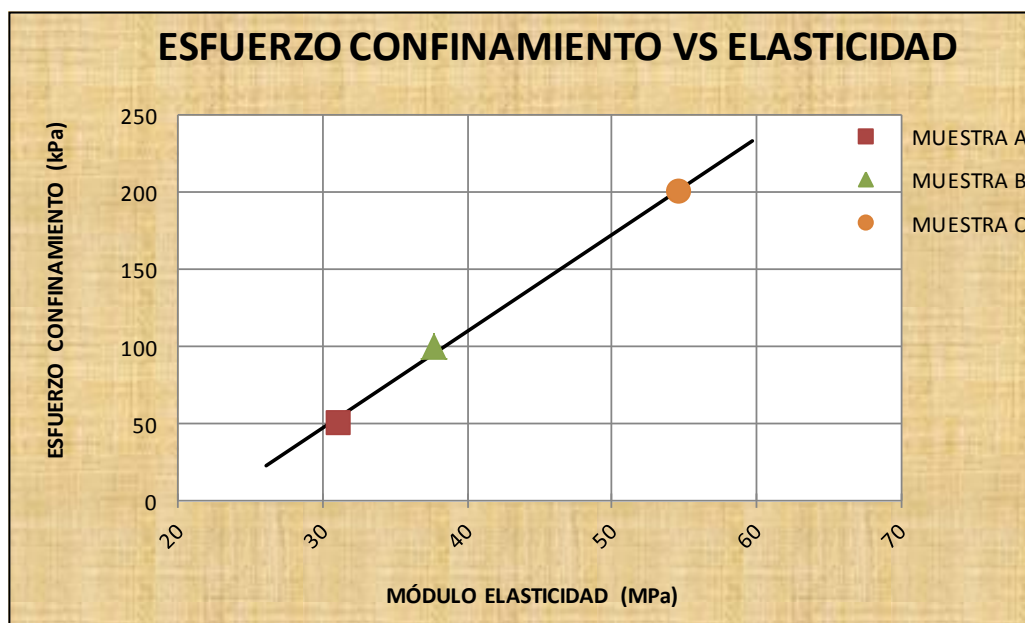
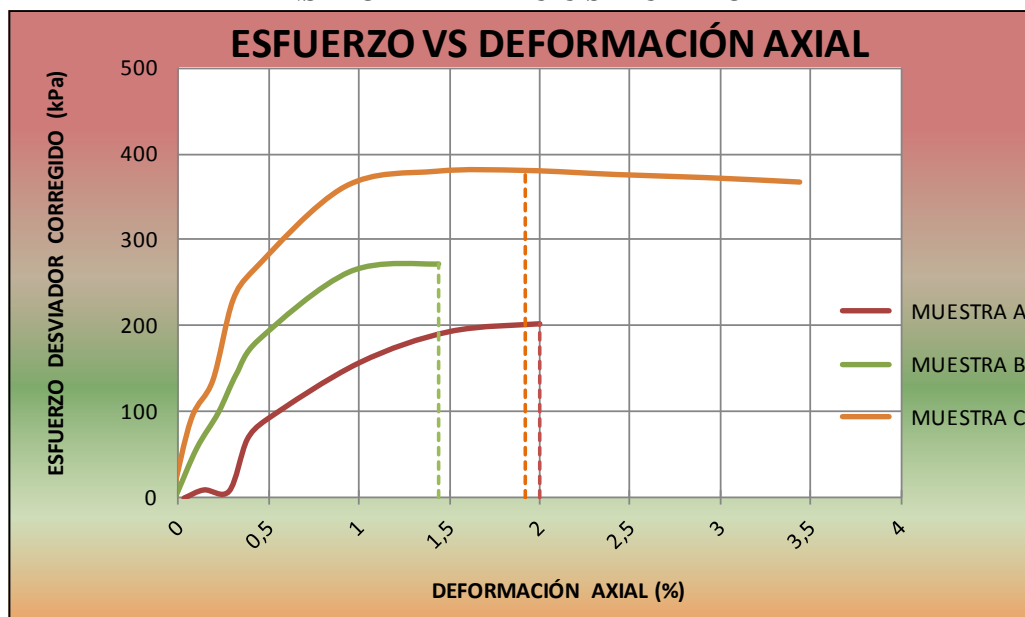
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 6

Denominación original Muestra#: 306376

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$6,253 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-140,03 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 6

Denominación original Muestra#: 306376

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENO ARCILLOSO CON POMEZ COLOR CAFE*
PARDUZO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	202,40	50,60	253,00	151,80	101,20
B	271,90	100,70	372,60	236,65	135,95
C	380,60	200,70	581,30	391,00	190,30

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

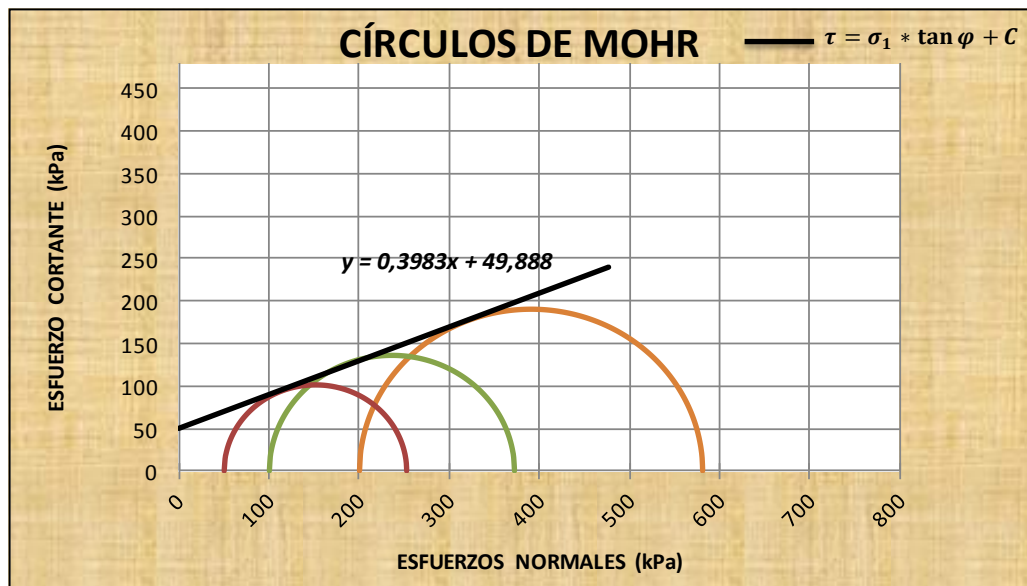
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 46,347

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3700

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9984

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 49,888

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 21.72°



Elaboración Propia

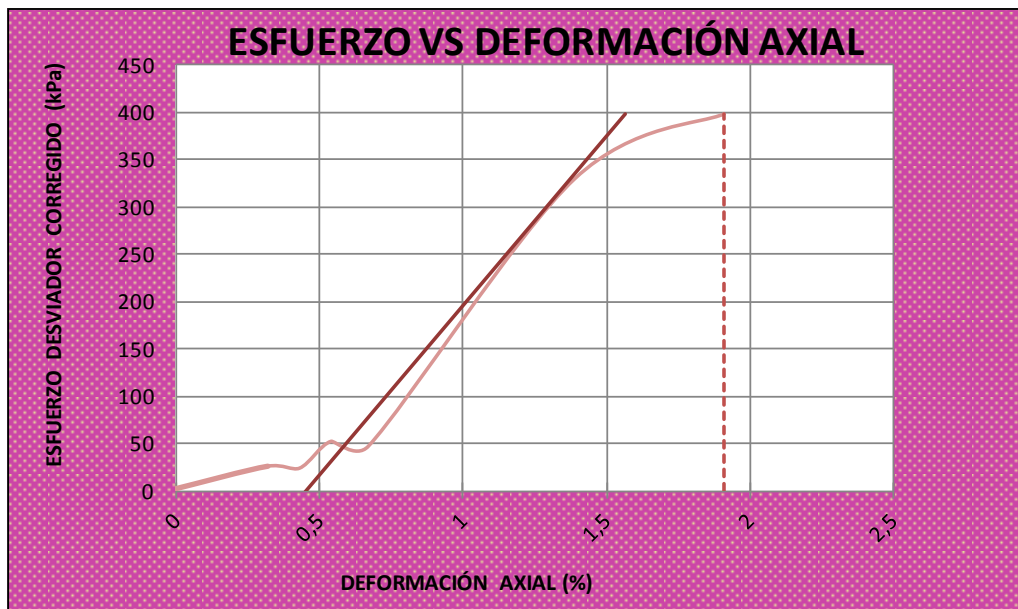
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 7 - A

Denominación original Muestra#: 306377 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	398,40	52,00	450,40	251,20	199,20

H _{PROMEDIO}	139,90 mm
D _{PROMEDIO}	68,36 mm
A _{PROMEDIO}	3670,24 mm ²
V _{PROMEDIO}	5134,66 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,70 KN/m ³
γ _{SECA}	11,28 KN/m ³
P _{MUESTRA}	857,03 g
n Porosidad	56,90 %
GS	2,61
H%	48,10 %
A _{Grado Aireación}	4,70 %

E
[MPa]
35,80

ϵ
[m/m]
0,0191

S
[%]
95,30

e
Relación vacíos
1,32

φ
[°]
33,34

C
[KPa]
74,61

Elaboración Propia

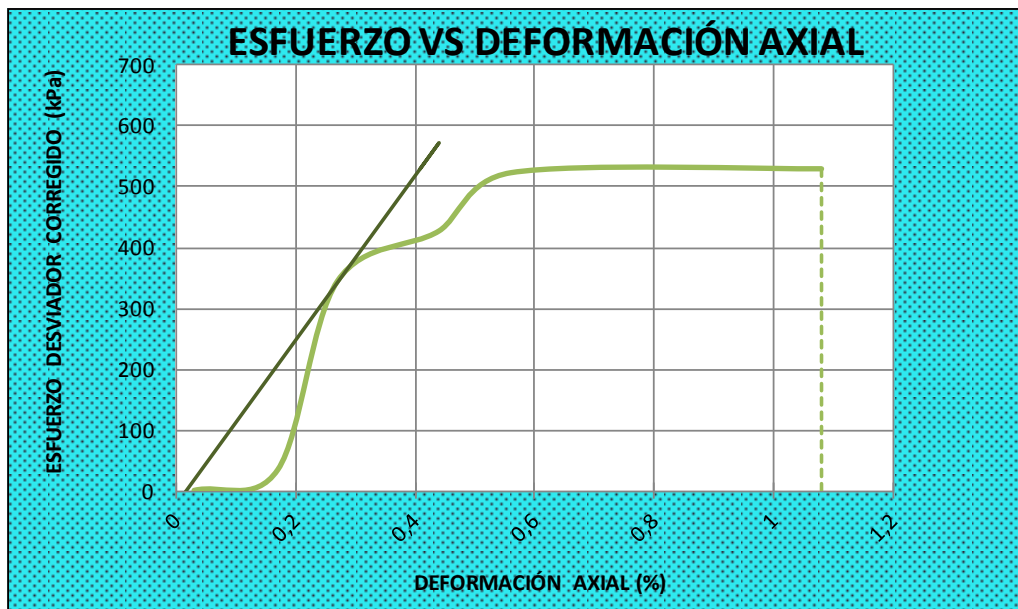
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 7 - B

Denominación original Muestra#: 306377 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	529,50	100,30	629,80	365,05	264,75

H _{PROMEDIO}	139,90 mm
D _{PROMEDIO}	68,36 mm
A _{PROMEDIO}	3670,24 mm ²
V _{PROMEDIO}	5134,66 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,70 KN/m ³
γ _{SECA}	11,28 KN/m ³
P _{MUESTRA}	857,03 g
n Porosidad	56,90 %
GS	2,61
H%	48,10 %
A _{Grado Aireación}	4,70 %

E
[MPa]
135,27

ϵ
[m/m]
0,0108

S
[%]
95,30

e
Relación vacíos
1,32

φ
[°]
33,34

C
[KPa]
74,61

Elaboración Propia

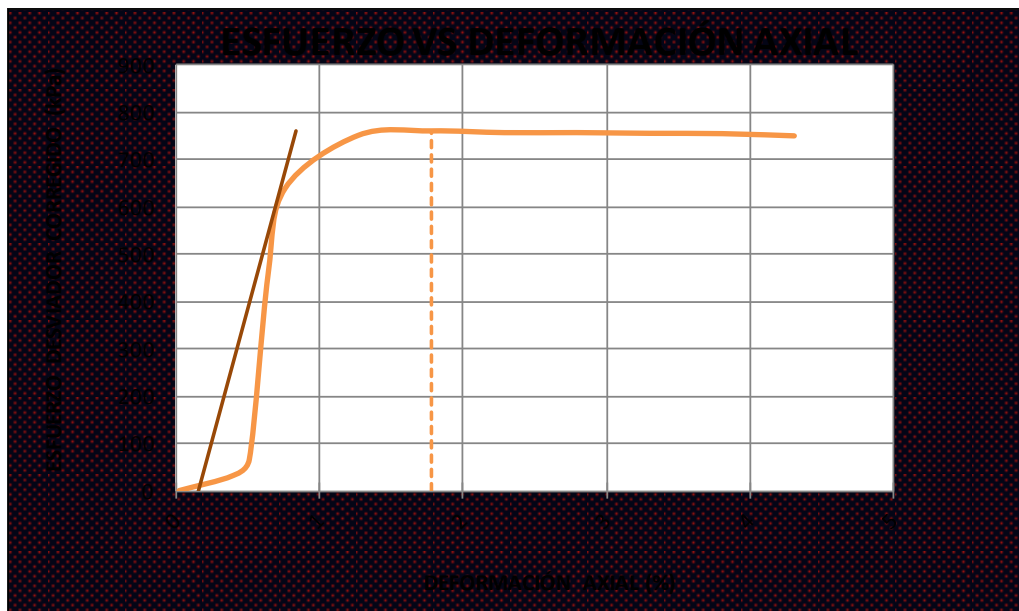
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 7 - C

Denominación original Muestra#: 306377 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	761,00	199,60	960,60	580,10	380,50

H _{PROMEDIO}	139,90 mm
D _{PROMEDIO}	68,36 mm
A _{PROMEDIO}	3670,24 mm ²
V _{PROMEDIO}	5134,66 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,70 KN/m ³
γ _{SECA}	11,28 KN/m ³
P _{MUESTRA}	857,03 g
n Porosidad	56,90 %
GS	2,61
H%	48,10 %
A _{Grado Aireación}	4,70 %

E
[MPa]
111,86

ϵ
[m/m]
0,0178

S
[%]
95,30

e
Relación vacíos
1,32

φ
[°]
33,34

C
[KPa]
74,61

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

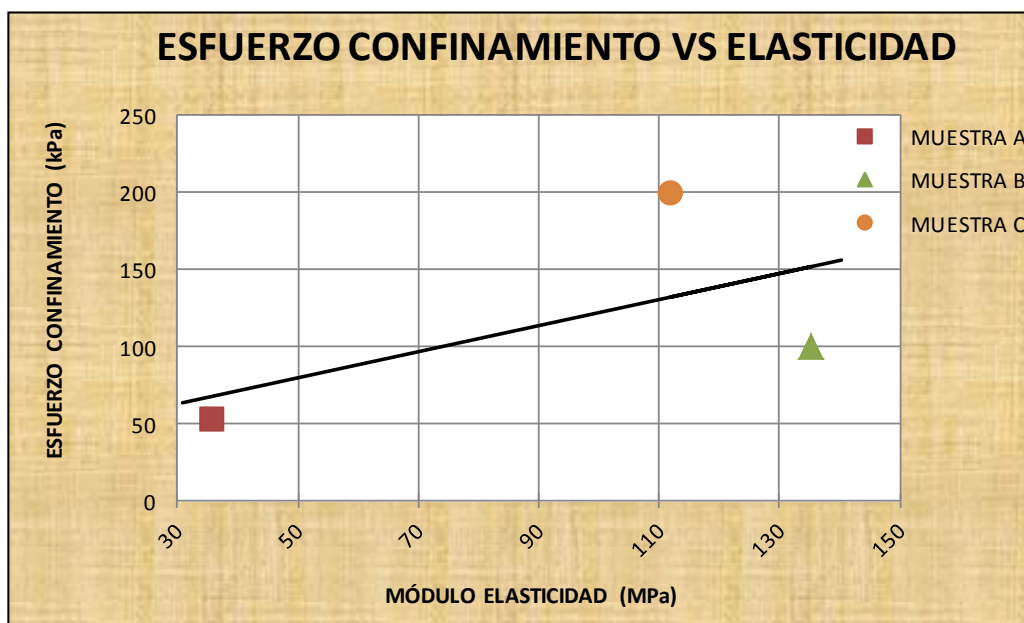
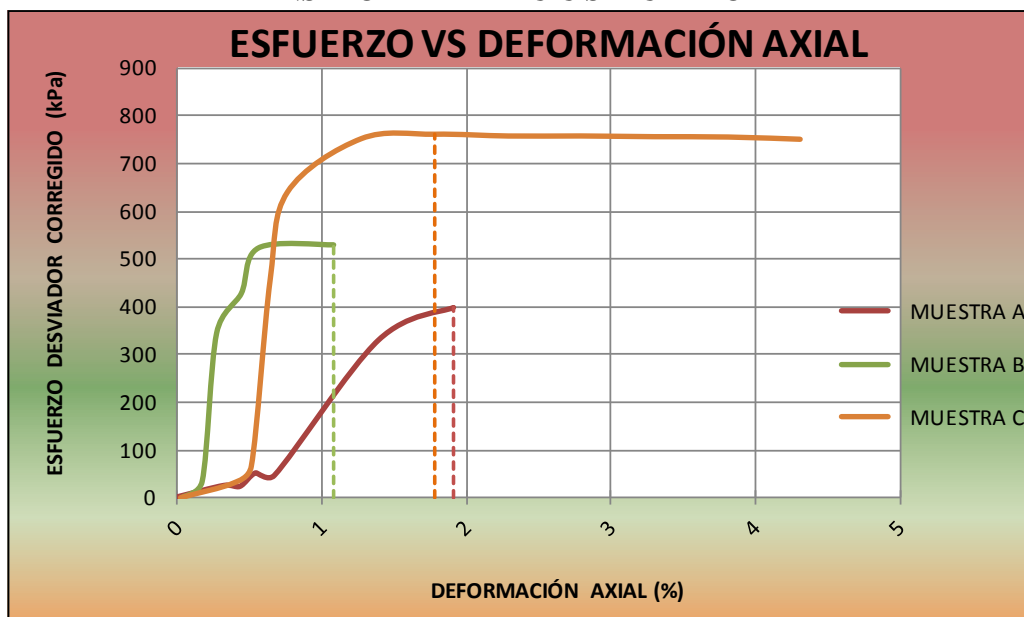
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 7

Denominación original Muestra#: 306377

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$0,845 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$37,65 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 7

Denominación original Muestra#: 306377

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ PINTAS NEGRAS COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	398,40	52,00	450,40	251,20	199,20
B	529,50	100,30	629,80	365,05	264,75
C	761,00	199,60	960,60	580,10	380,50

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

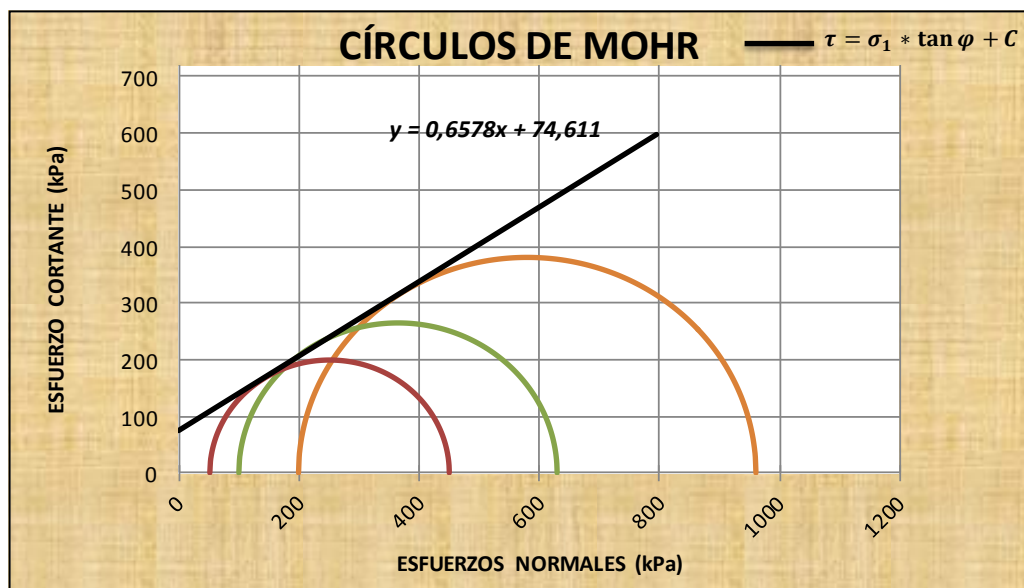
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 62,335

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,5495

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9997

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 74,611

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 33.34°



Elaboración Propia

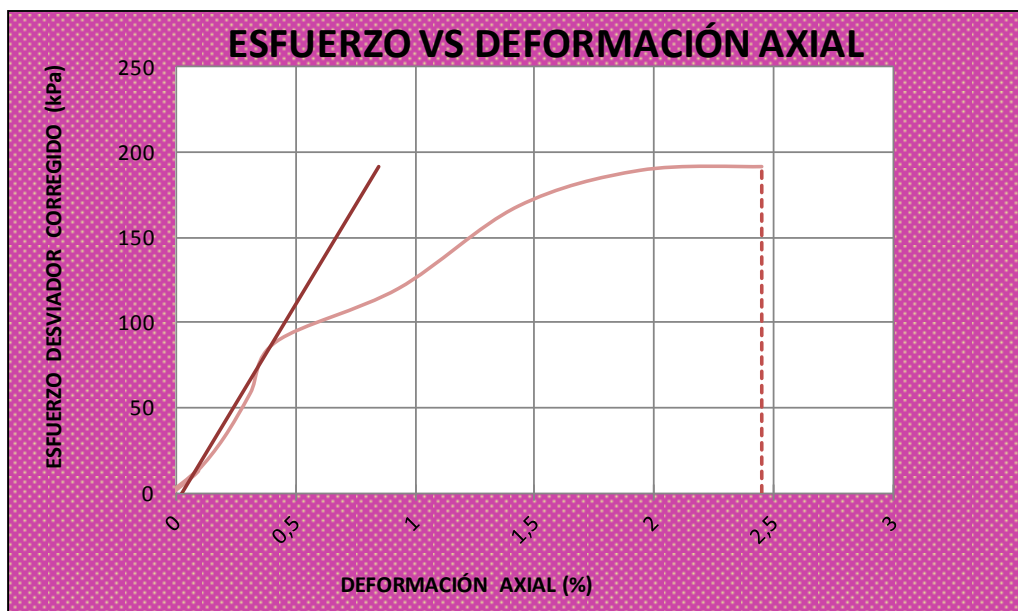
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 8 - A

Denominación original Muestra#: 306378 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	191,60	50,90	242,50	146,70	95,80

H _{PROMEDIO}	142,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,83 mm
A _{PROMEDIO}	3720,88 mm ²
V _{PROMEDIO}	5283,65 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,57 KN/m ³
P _{MUESTRA}	889,64 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	33,70 %
A _{Grado Aireación}	16,20 %

E
[MPa]
23,29

ϵ
[m/m]
0,0245

S
[%]
83,80

e
Relación vacíos
1,02

ϕ
[°]
22,60

C
[KPa]
43,70

Elaboración Propia

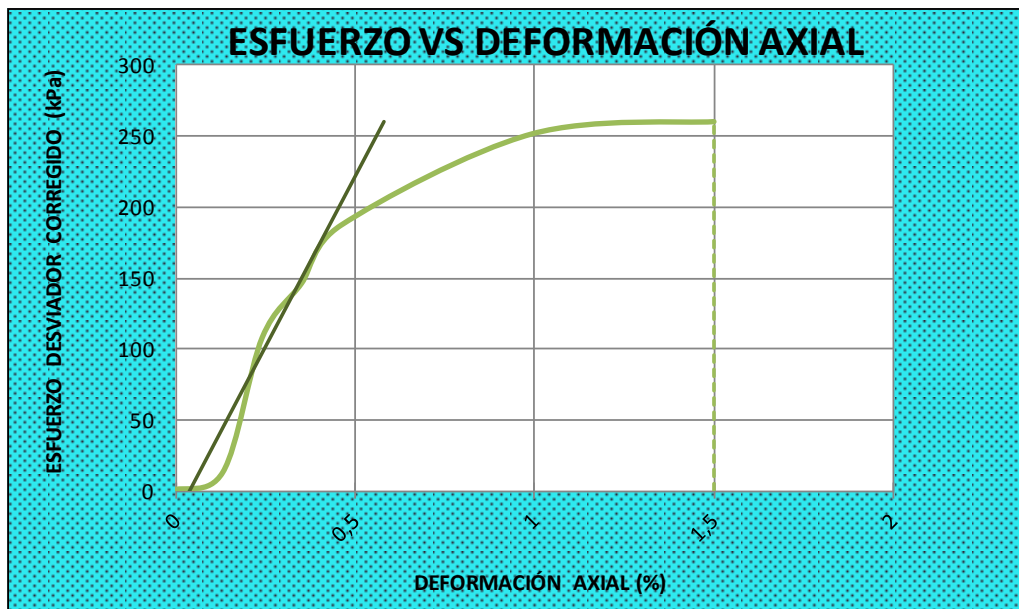
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 8 - B

Denominación original Muestra#: 306378 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	260,20	99,90	360,10	230,00	130,10

H _{PROMEDIO}	142,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,83 mm
A _{PROMEDIO}	3720,88 mm ²
V _{PROMEDIO}	5283,65 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,57 KN/m ³
P _{MUESTRA}	889,64 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	33,70 %
A _{Grado Aireación}	16,20 %

E
[MPa]
47,99

ϵ
[m/m]
0,0150

S
[%]
83,80

e
Relación vacíos
1,02

ϕ
[°]
22,60

C
[KPa]
43,70

Elaboración Propia

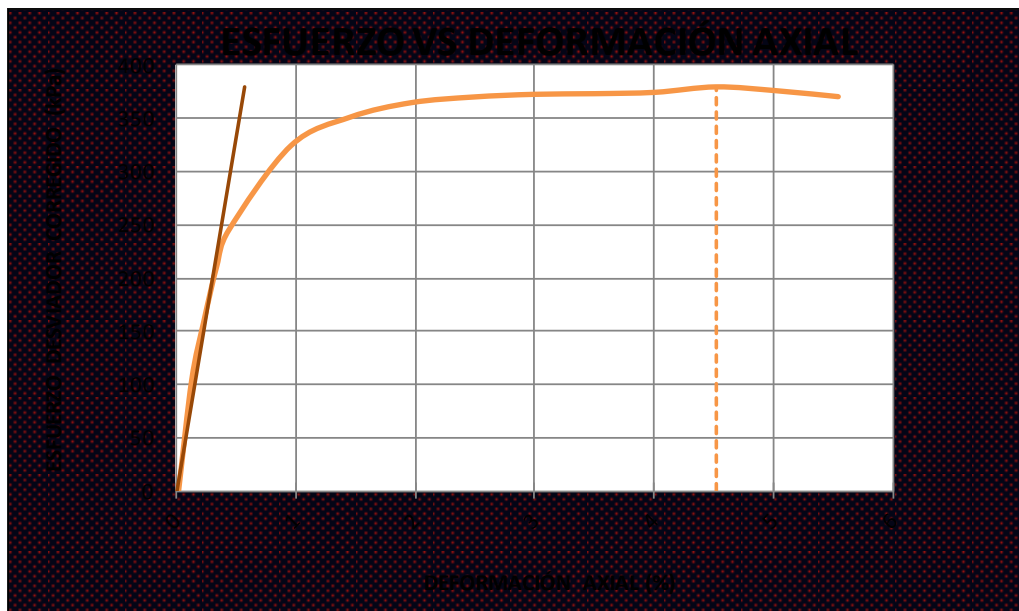
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 7 - 8 - C

Denominación original Muestra#: 306378 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	379,60	200,40	580,00	390,20	189,80

H _{PROMEDIO}	142,00 mm
D _{PROMEDIO}	68,83 mm
A _{PROMEDIO}	3720,88 mm ²
V _{PROMEDIO}	5283,65 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,80 KN/m ³
γ _{SECA}	12,57 KN/m ³
P _{MUESTRA}	889,64 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,55
H%	33,70 %
A _{Grado Aireación}	16,20 %

E
[MPa]
67,06

ϵ
[m/m]
0,0452

S
[%]
83,80

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
22,60

C
[KPa]
43,70

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

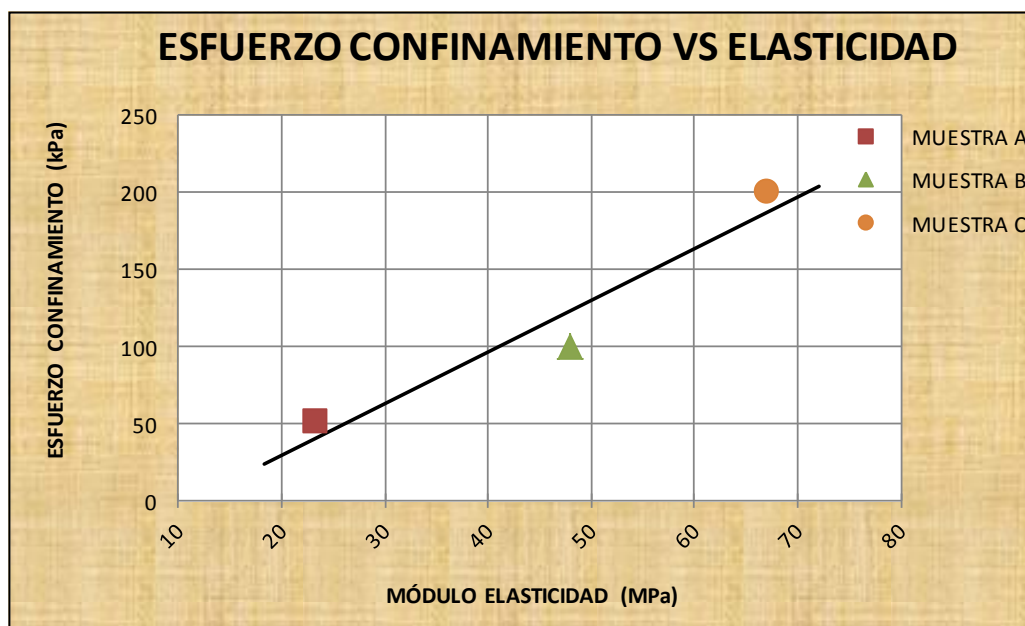
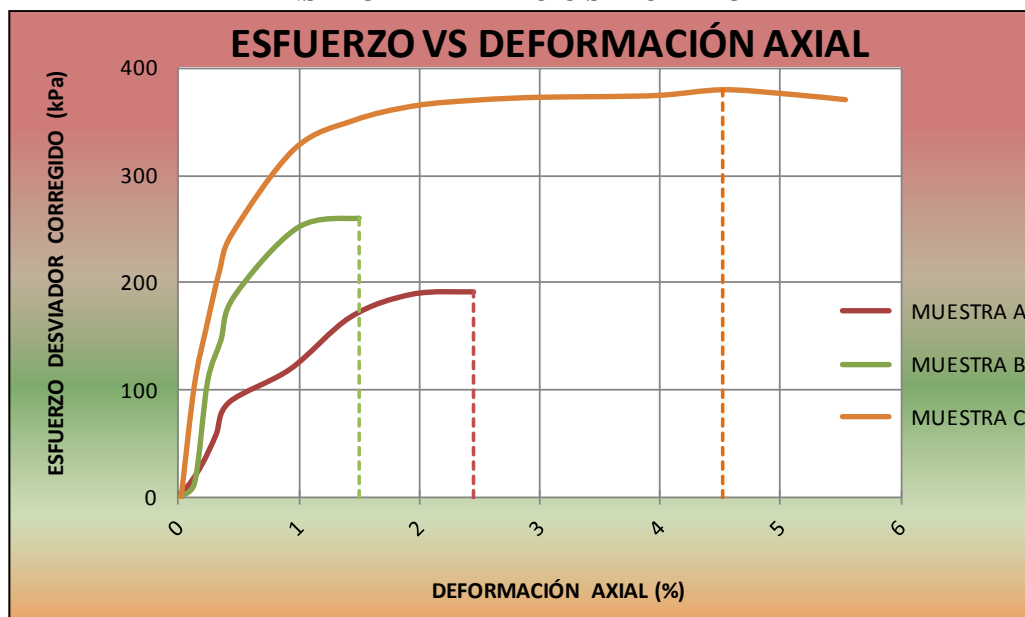
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 8

Denominación original Muestra#: 306378

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$3,347 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-37,27 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

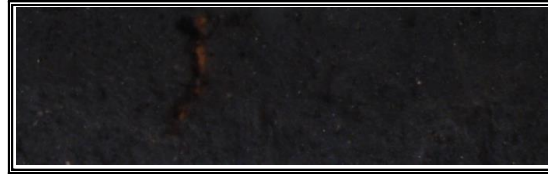
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 7 - 8

Denominación original Muestra#: 306378

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ORGANICO ARENOSO CON POMEZ COLOR CAFE OSCURO*



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	191,60	50,90	242,50	146,70	95,80
B	260,20	99,90	360,10	230,00	130,10
C	379,60	200,40	580,00	390,20	189,80

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

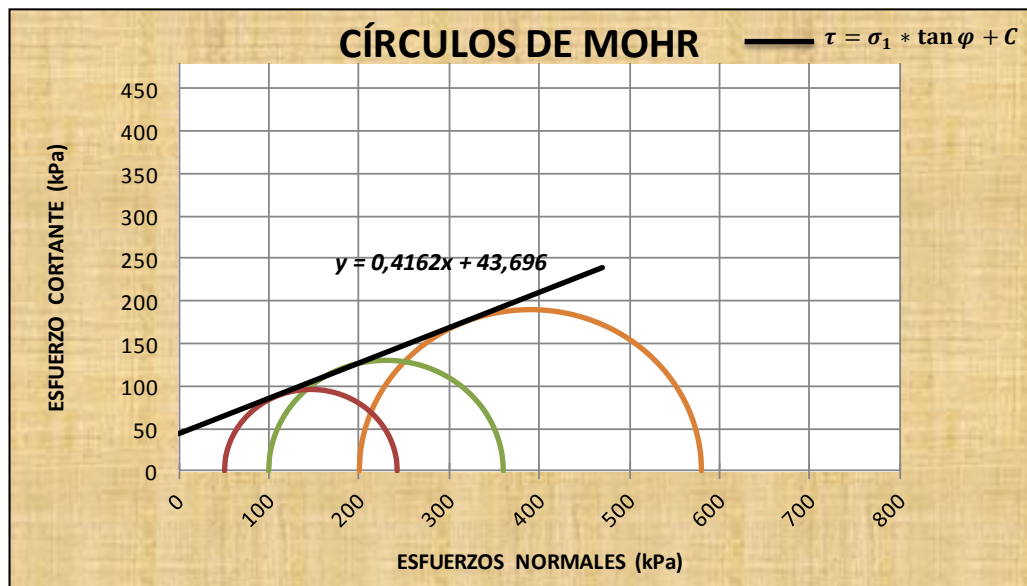
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 40,341

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3842

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9993

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 43,696

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 22,6°



Elaboración Propia

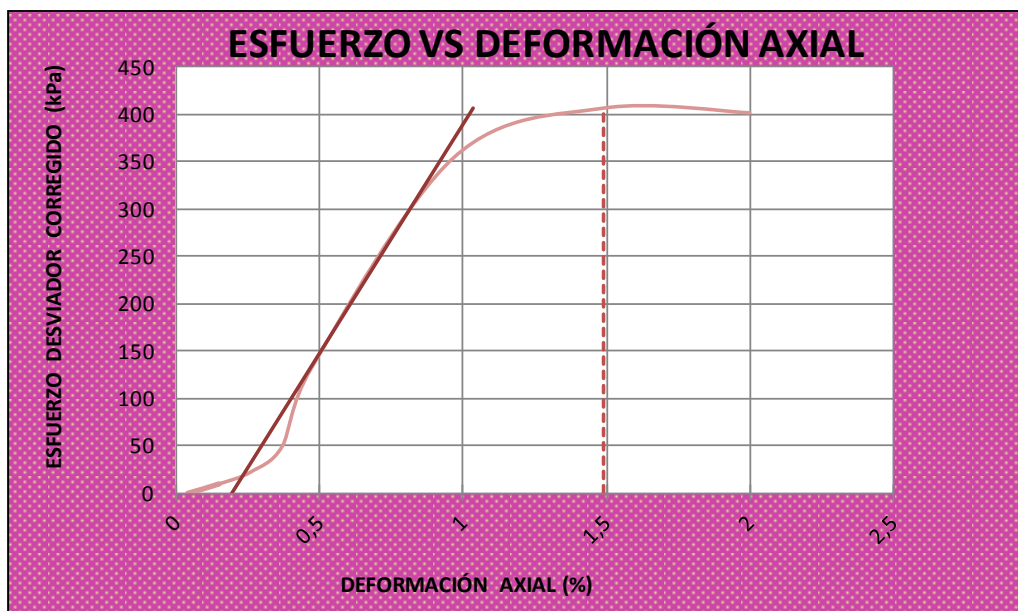
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 1 - A

Denominación original Muestra#: N1 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	406,70	24,90	431,60	228,25	203,35

H _{PROMEDIO}	141,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,61 mm
A _{PROMEDIO}	3590,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	5090,82 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	13,80 KN/m ³
P _{MUESTRA}	887,66 g
n Porosidad	47,64 %
GS	2,65
H%	26,10 %
A _{Grado Aireación}	24,50 %

E
[MPa]
48,39

ϵ
[m/m]
0,0149

S
[%]
75,50

e
Relación vacíos
0,91

φ
[°]
27,99

C
[KPa]
108,76

Elaboración Propia

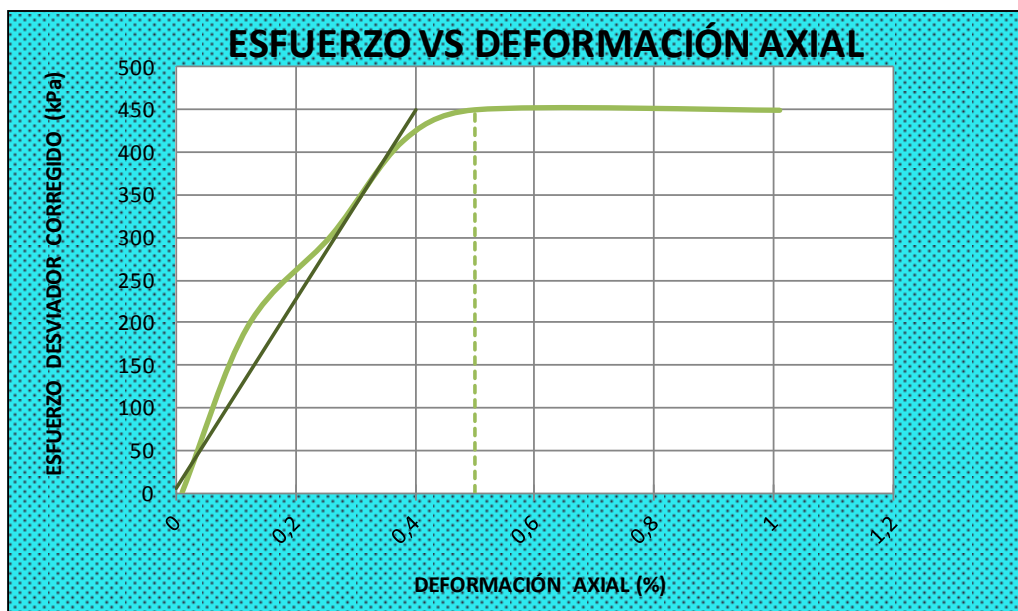
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 1 - B

Denominación original Muestra#: N1 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	449,90	50,30	500,20	275,25	224,95

H _{PROMEDIO}	141,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,61 mm
A _{PROMEDIO}	3590,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	5090,82 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	13,80 KN/m ³
P _{MUESTRA}	887,66 g
n Porosidad	47,92 %
GS	2,65
H%	26,10 %
A _{Grado Aireación}	24,60 %

E
[MPa]
110,82

ϵ
[m/m]
0,0050

S
[%]
75,40

e
Relación vacíos
0,92

ϕ
[°]
27,99

C
[KPa]
108,76

Elaboración Propia

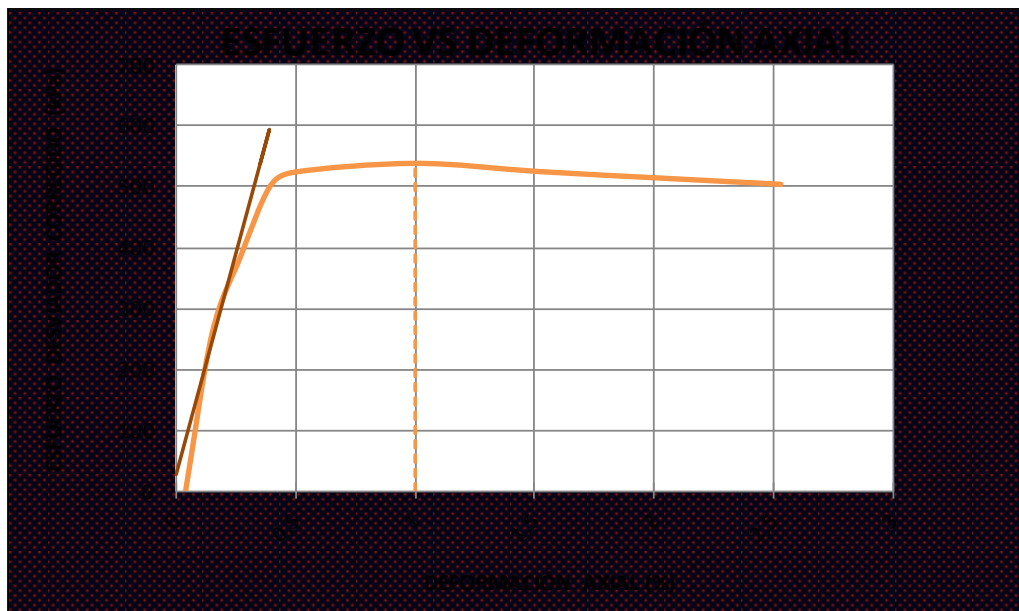
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 1 - C

Denominación original Muestra#: N1 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	538,50	99,60	638,10	368,85	269,25

H _{PROMEDIO}	141,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,61 mm
A _{PROMEDIO}	3590,14 mm ²
V _{PROMEDIO}	5090,82 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,40 KN/m ³
γ _{SECA}	13,80 KN/m ³
P _{MUESTRA}	887,66 g
n Porosidad	47,92 %
GS	2,65
H%	26,10 %
A _{Grado Aireación}	24,60 %

E
[MPa]
145,41

ϵ
[m/m]
0,0100

S
[%]
75,40

e
Relación vacíos
0,92

ϕ
[°]
27,99

C
[KPa]
108,76

Elaboración Propia

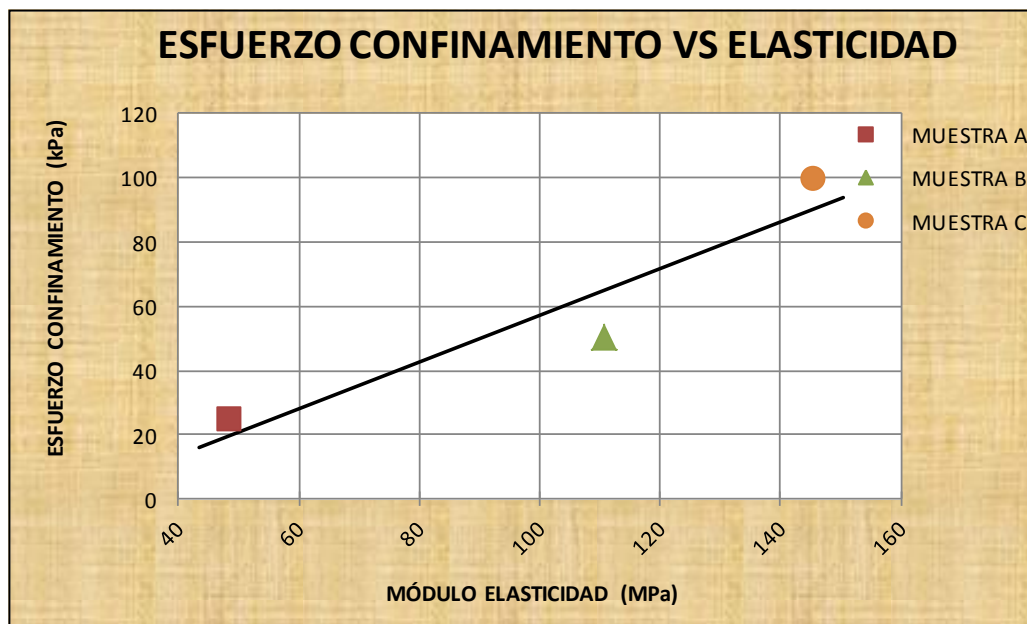
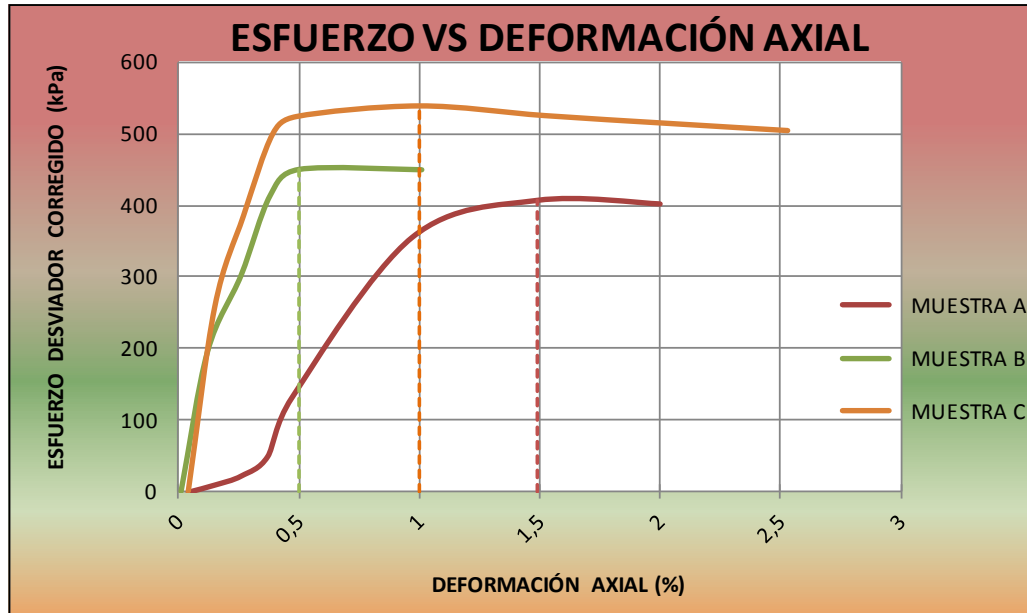
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 1

Denominación original Muestra#: N1

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$0,726 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-15,50 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 1

Denominación original Muestra#: N1

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENOSO LIGERAMENTE HUMEDO CON POMEZ*
COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
CL

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	406,70	24,90	431,60	228,25	203,35
B	449,90	50,30	500,20	275,25	224,95
C	538,50	99,60	638,10	368,85	269,25

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

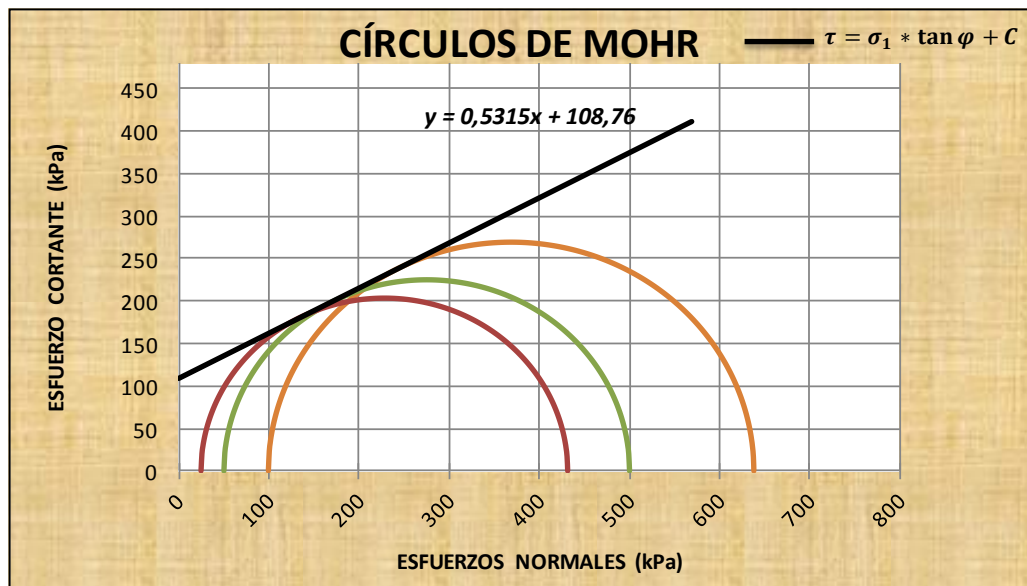
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 96,036

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4694

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9999

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 108,760

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 27,99°



Elaboración Propia

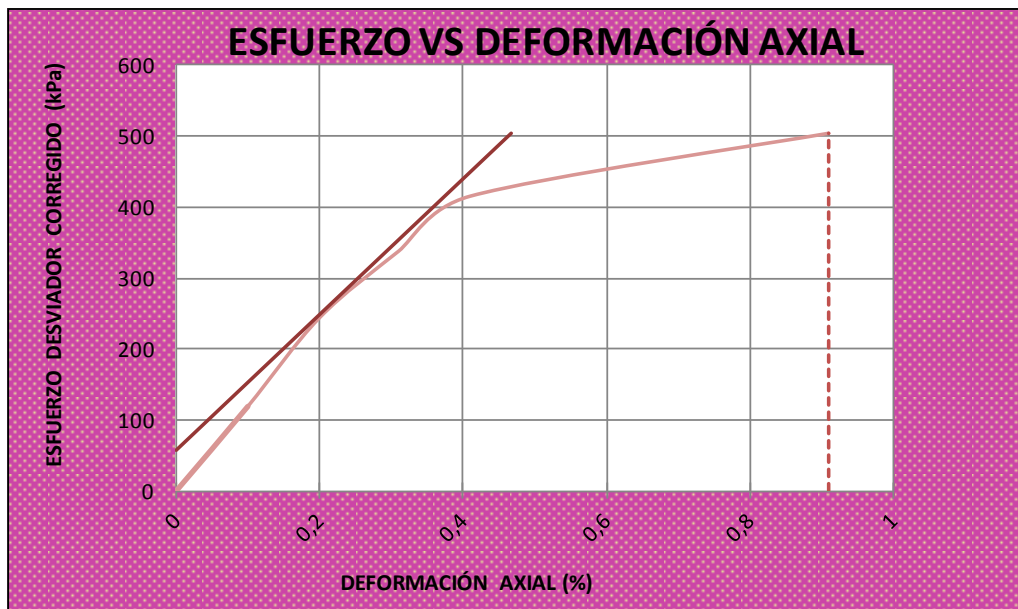
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 2 - A

Denominación original Muestra#: N2 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	503,90	25,40	529,30	277,35	251,95

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,23 mm
A _{PROMEDIO}	3656,29 mm ²
V _{PROMEDIO}	5235,81 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,70 KN/m ³
γ _{SECA}	14,03 KN/m ³
P _{MUESTRA}	924,92 g
n Porosidad	47,64 %
GS	2,68
H%	26,20 %
A _{Grado Aireación}	23,20 %

E
[MPa]
95,62

ε
[m/m]
0,0091

S
[%]
76,80

e
Relación vacíos
0,91

φ
[°]
27,46

C
[KPa]
140,34

Elaboración Propia

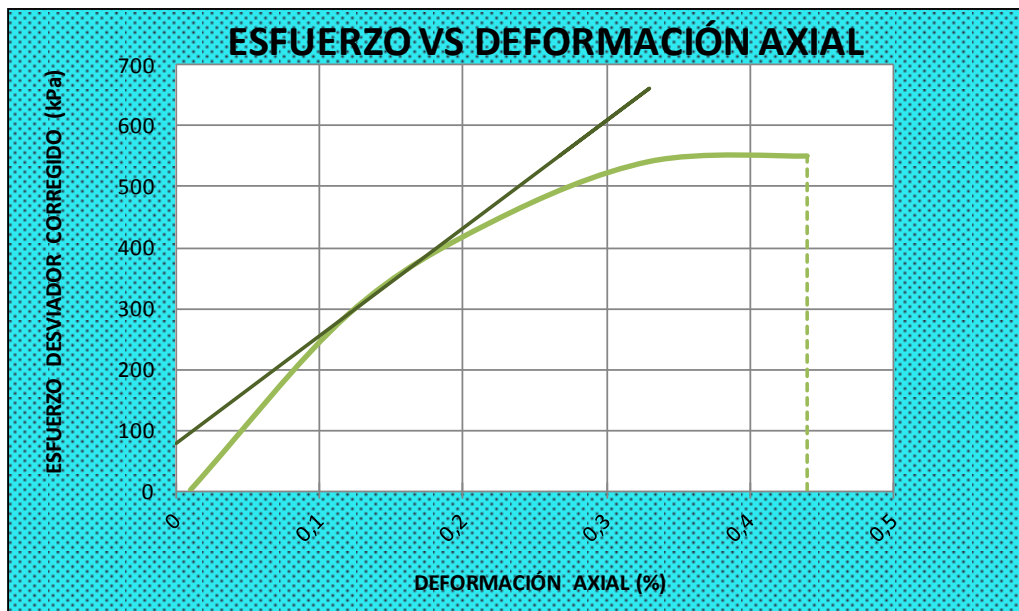
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 2 - B

Denominación original Muestra#: N2 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	550,60	50,10	600,70	325,40	275,30

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,23 mm
A _{PROMEDIO}	3656,29 mm ²
V _{PROMEDIO}	5235,81 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,70 KN/m ³
γ _{SECA}	14,03 KN/m ³
P _{MUESTRA}	924,92 g
n Porosidad	47,64 %
GS	2,68
H%	26,20 %
A _{Grado Aireación}	23,20 %

E
[MPa]
176,94

ϵ
[m/m]
0,0044

S
[%]
76,80

e
Relación vacíos
0,91

φ
[°]
27,46

C
[KPa]
140,34

Elaboración Propia

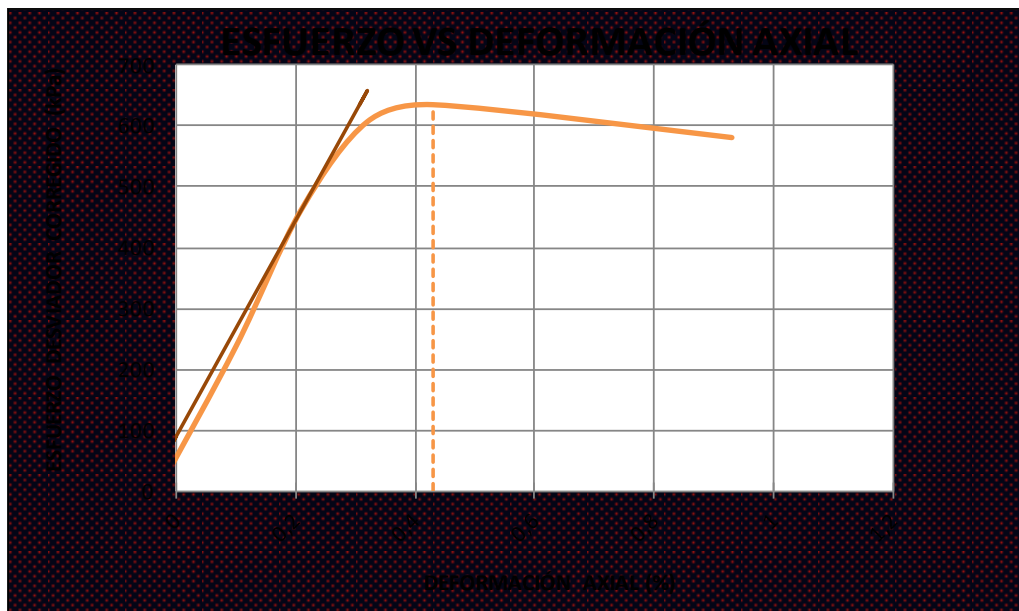
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 2 - C

Denominación original Muestra#: N2 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	635,00	101,50	736,50	419,00	317,50

H _{PROMEDIO}	143,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,23 mm
A _{PROMEDIO}	3656,29 mm ²
V _{PROMEDIO}	5235,81 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,70 KN/m ³
γ _{SECA}	14,03 KN/m ³
P _{MUESTRA}	924,92 g
n Porosidad	47,64 %
GS	2,68
H%	26,20 %
A _{Grado Aireación}	23,20 %

E
[MPa]
177,76

ϵ
[m/m]
0,0043

S
[%]
76,80

e
Relación vacíos
0,91

ϕ
[°]
27,46

C
[KPa]
140,34

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

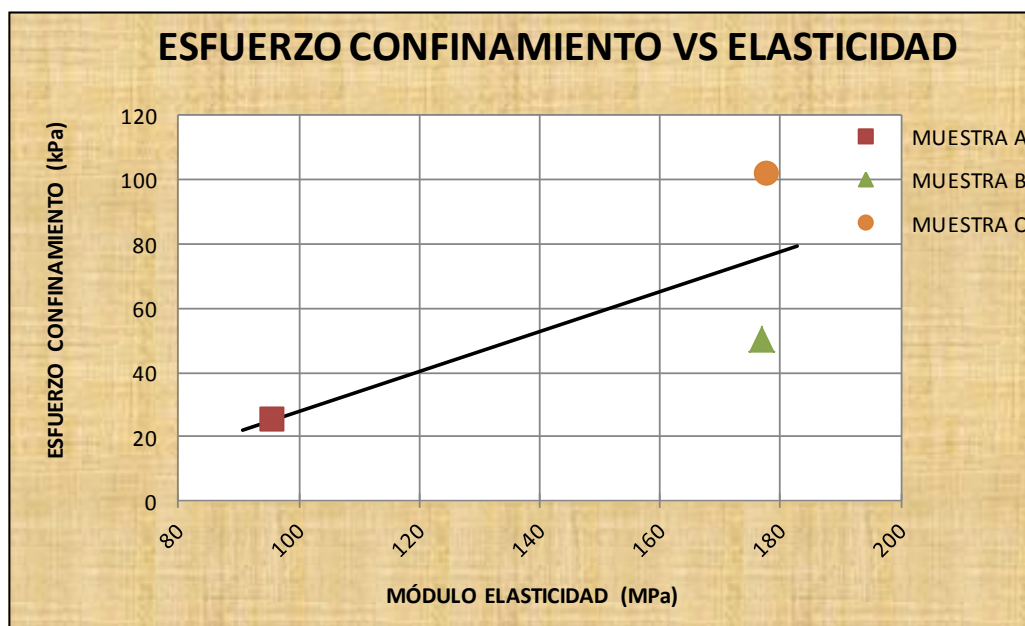
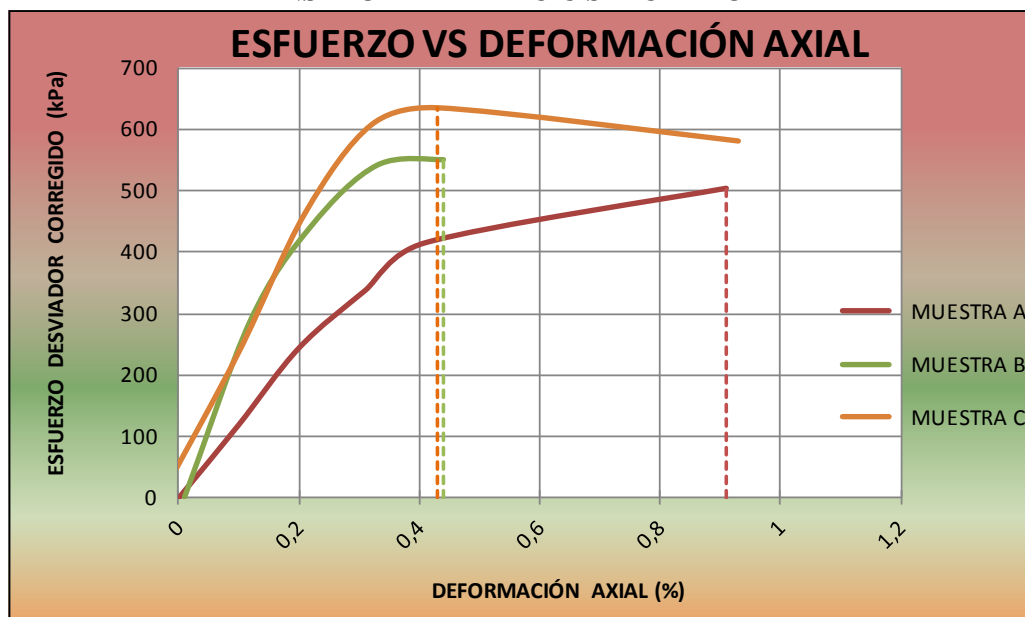
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 2

Denominación original Muestra#: N2

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$0,621 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-34,27 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 2

Denominación original Muestra#: N2

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ CON GRUMOS
ENDURECIDOS COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	503,90	25,40	529,30	277,35	251,95
B	550,60	50,10	600,70	325,40	275,30
C	635,00	101,50	736,50	419,00	317,50

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

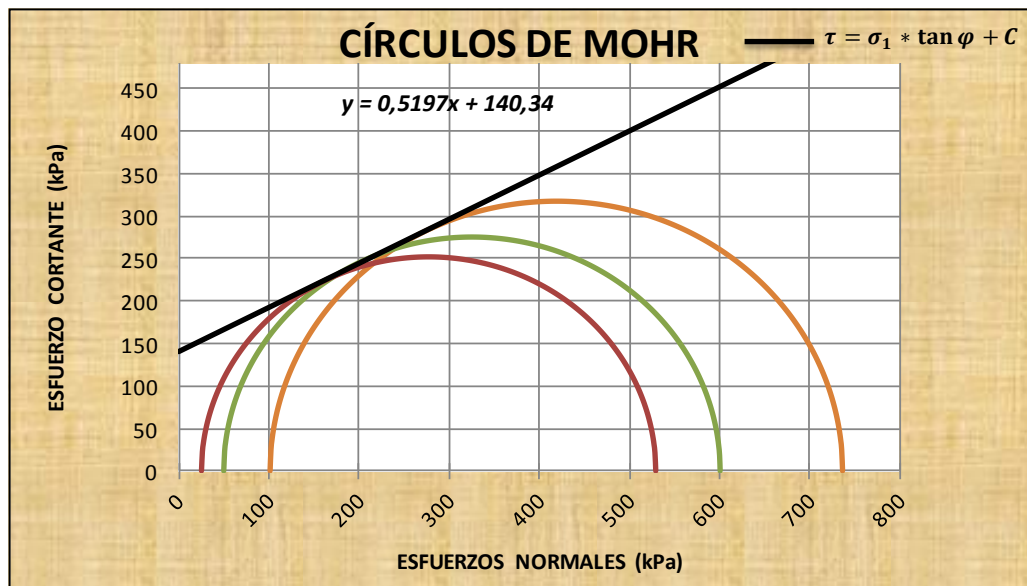
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 124,530

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4611

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9996

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 140,342

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 27.46°



Elaboración Propia

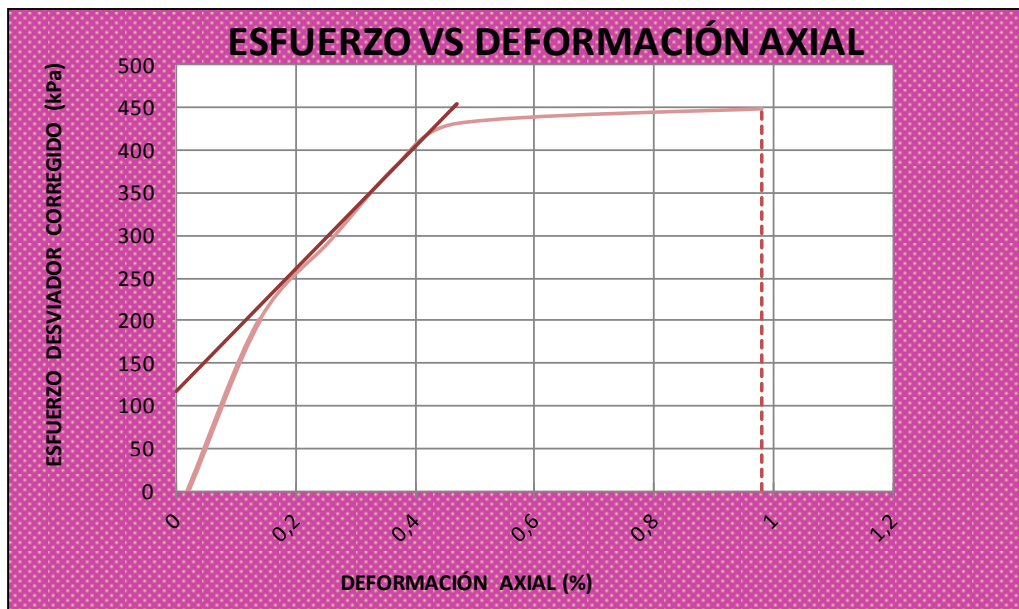
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 3 - A

Denominación original Muestra#: N3 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	448,80	25,20	474,00	249,60	224,40

H _{PROMEDIO}	142,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,77 mm
A _{PROMEDIO}	3607,16 mm ²
V _{PROMEDIO}	5151,02 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	14,40 KN/m ³
P _{MUESTRA}	922,12 g
n Porosidad	44,75 %
GS	2,60
H%	24,30 %
A _{Grado Aireación}	21,60 %

E
[MPa]
71,87

ϵ
[m/m]
0,0098

S
[%]
78,40

e
Relación vacíos
0,81

φ
[°]
28,15

C
[KPa]
120,85

Elaboración Propia

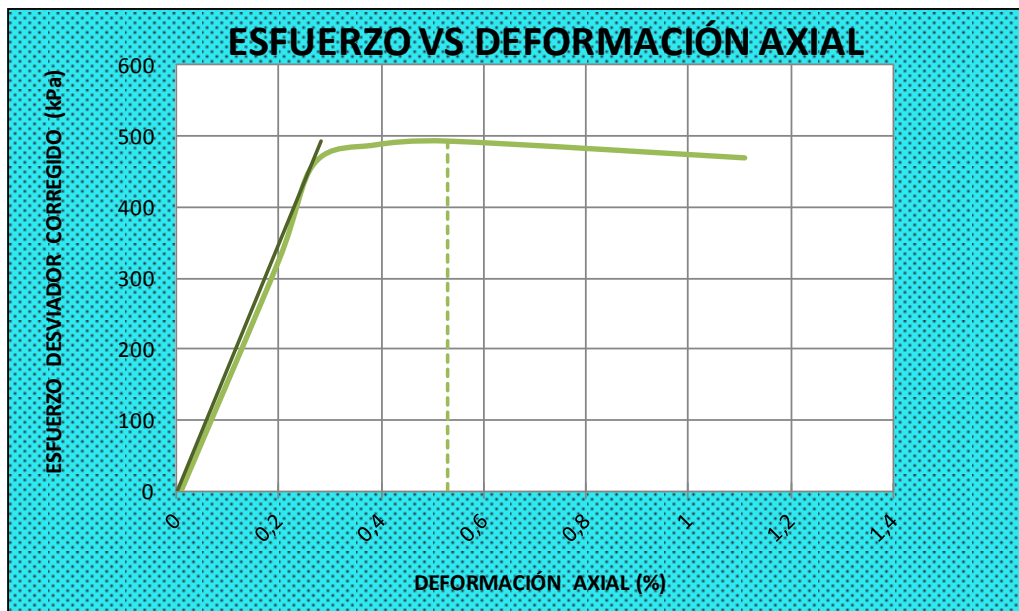
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 3 - B

Denominación original Muestra#: N3 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	492,90	50,30	543,20	296,75	246,45

H _{PROMEDIO}	142,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,77 mm
A _{PROMEDIO}	3607,16 mm ²
V _{PROMEDIO}	5151,02 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	14,40 KN/m ³
P _{MUESTRA}	922,12 g
n Porosidad	44,44 %
GS	2,60
H%	24,30 %
A _{Grado Aireación}	21,50 %

E
[MPa]
175,69

ϵ
[m/m]
0,0041

S
[%]
78,50

e
Relación vacíos
0,80

ϕ
[°]
28,15

C
[KPa]
120,85

Elaboración Propia

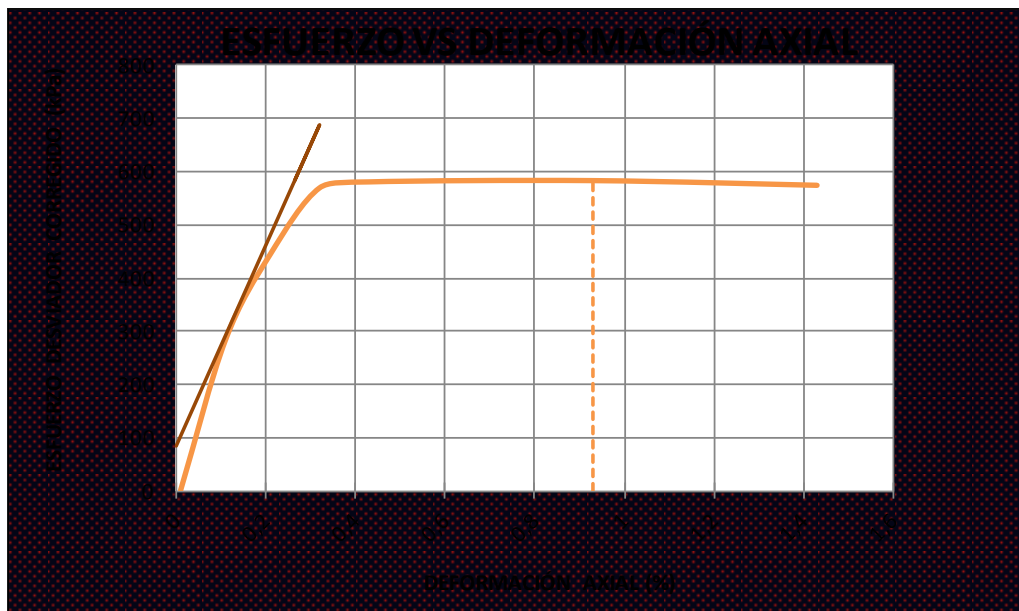
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 3 - C

Denominación original Muestra#: N3 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	583,00	100,40	683,40	391,90	291,50

H _{PROMEDIO}	142,80 mm
D _{PROMEDIO}	67,77 mm
A _{PROMEDIO}	3607,16 mm ²
V _{PROMEDIO}	5151,02 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,90 KN/m ³
γ _{SECA}	14,40 KN/m ³
P _{MUESTRA}	922,12 g
n Porosidad	44,44 %
GS	2,60
H%	24,30 %
A _{Grado Aireación}	21,50 %

E
[MPa]
188,63

ϵ
[m/m]
0,0093

S
[%]
78,50

e
Relación vacíos
0,80

ϕ
[°]
28,15

C
[KPa]
120,85

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

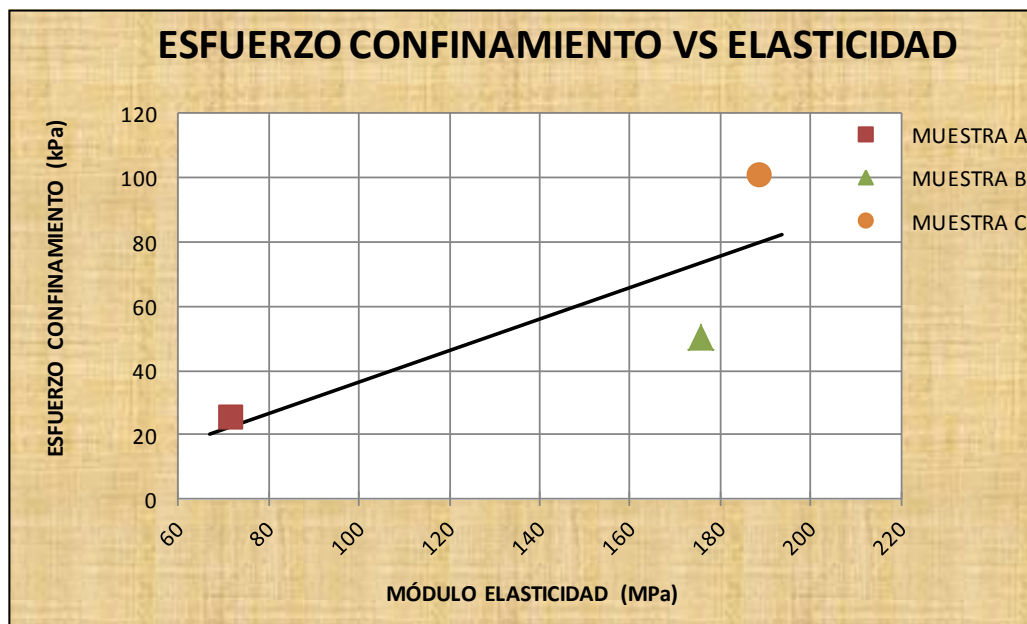
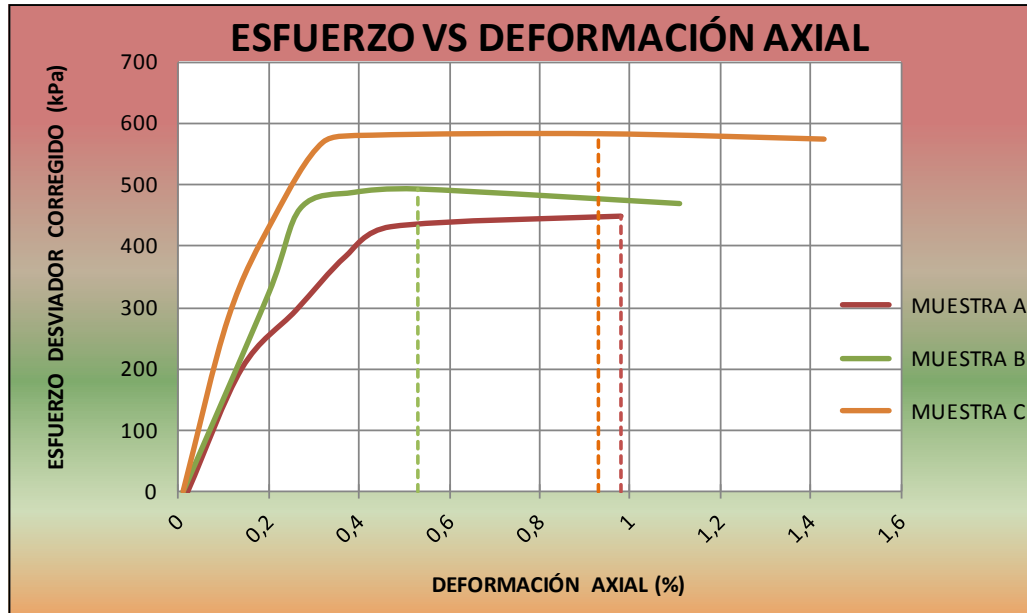
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 3

Denominación original Muestra#: N3

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$0,490 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-12,56 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 3

Denominación original Muestra#: N3

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ CON GRUMOS
ENDURECIDOS COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
CL

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	448,80	25,20	474,00	249,60	224,40
B	492,90	50,30	543,20	296,75	246,45
C	583,00	100,40	683,40	391,90	291,50

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

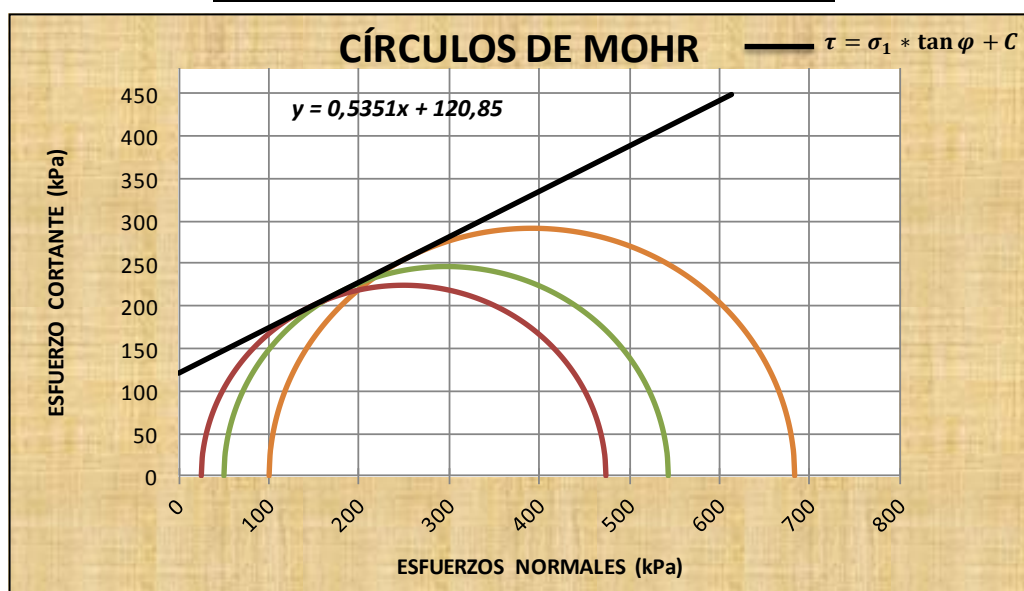
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 106,556

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4718

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 1,0000

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 120,853

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 28.15°



Elaboración Propia

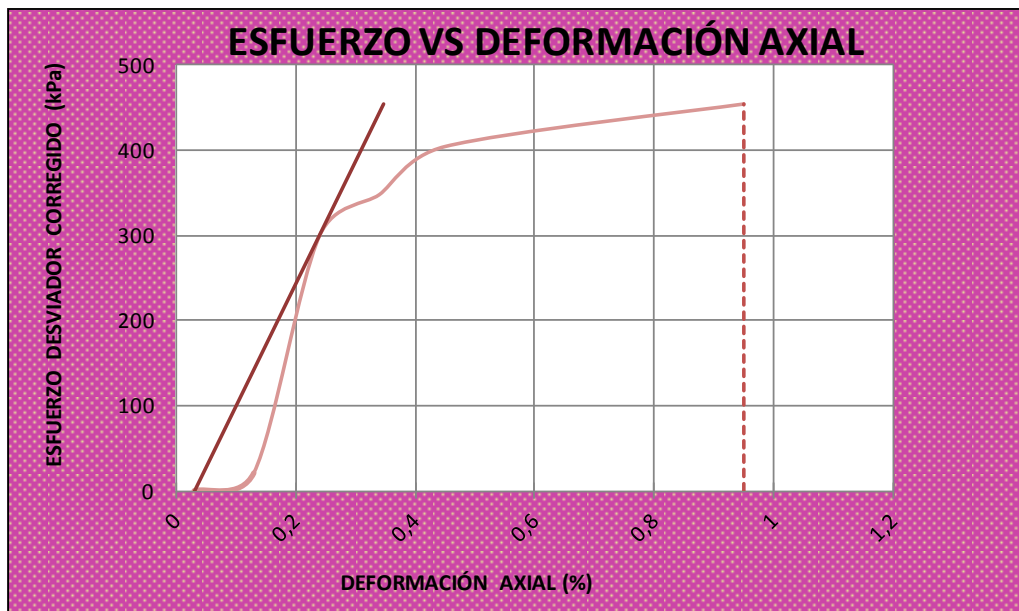
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 4 - A

Denominación original Muestra#: N4 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	454,40	25,50	479,90	252,70	227,20

H _{PROMEDIO}	142,50 mm
D _{PROMEDIO}	68,40 mm
A _{PROMEDIO}	3674,53 mm ²
V _{PROMEDIO}	5236,21 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,30 KN/m ³
γ _{SECA}	14,82 KN/m ³
P _{MUESTRA}	903,49 g
n Porosidad	43,50 %
GS	2,62
H%	16,70 %
A Grado Aireación	43,30 %

E
[MPa]
143,73

ϵ
[m/m]
0,0095

S
[%]
56,70

e
Relación vacíos
0,77

ϕ
[°]
29,71

C
[KPa]
116,35

Elaboración Propia

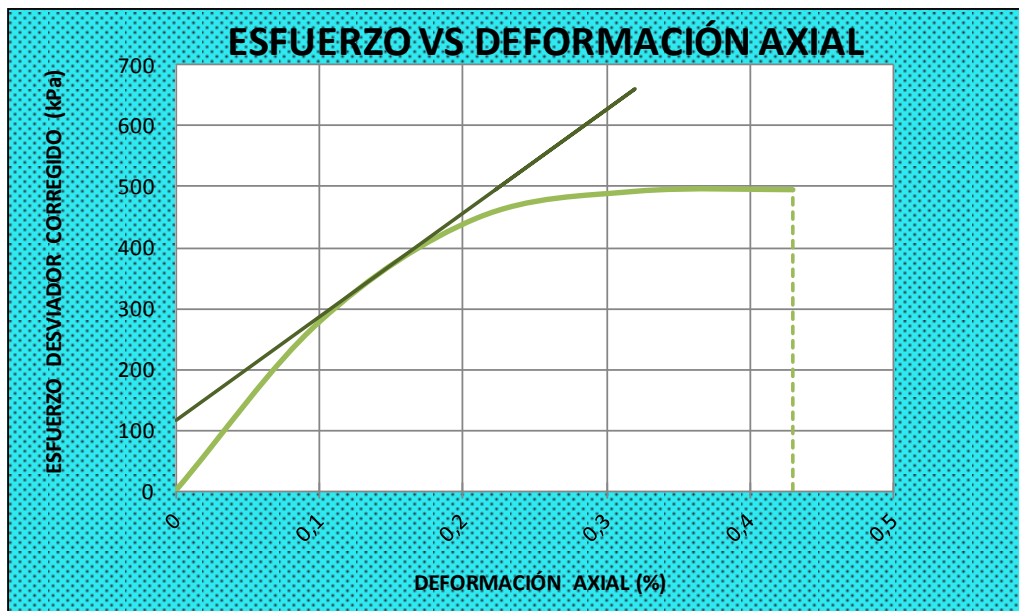
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 4 - B

Denominación original Muestra#: N4 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	495,10	50,70	545,80	298,25	247,55

H _{PROMEDIO}	142,50 mm
D _{PROMEDIO}	68,43 mm
A _{PROMEDIO}	3677,76 mm ²
V _{PROMEDIO}	5240,80 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,20 KN/m ³
γ _{SECA}	14,74 KN/m ³
P _{MUESTRA}	903,49 g
n Porosidad	43,50 %
GS	2,62
H%	16,70 %
A _{Grado Aireación}	43,40 %

E
[MPa]
170,29

ϵ
[m/m]
0,0043

S
[%]
56,60

e
Relación vacíos
0,77

φ
[°]
29,71

C
[KPa]
116,35

Elaboración Propia

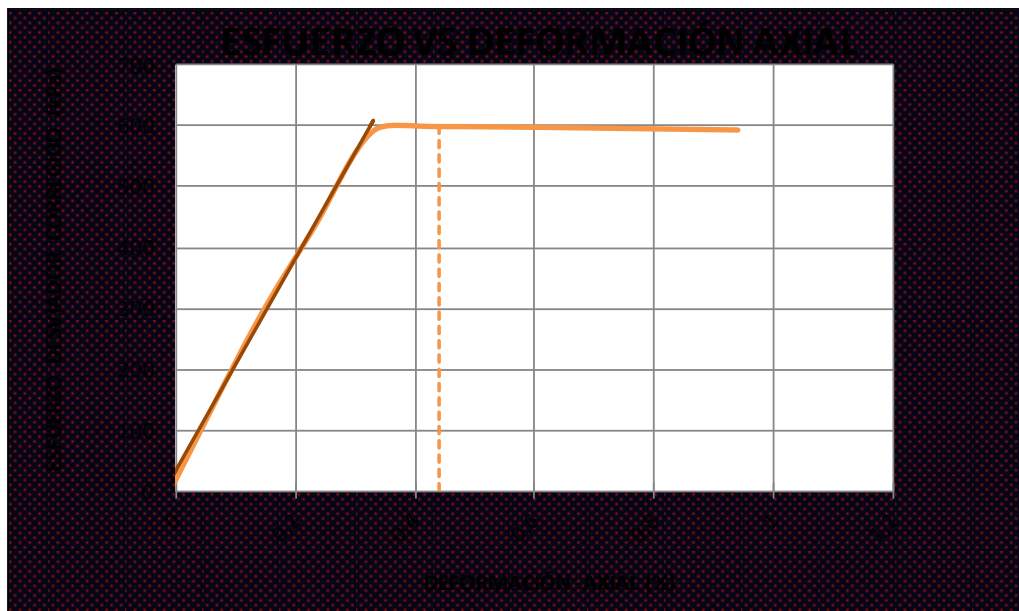
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 4 - C

Denominación original Muestra#: N4 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	599,00	100,10	699,10	399,60	299,50

H _{PROMEDIO}	142,50 mm
D _{PROMEDIO}	68,48 mm
A _{PROMEDIO}	3683,13 mm ²
V _{PROMEDIO}	5248,46 mm ³
γ _{HÚMEDA}	17,20 KN/m ³
γ _{SECA}	14,74 KN/m ³
P _{MUESTRA}	903,49 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,62
H%	16,70 %
A _{Grado Aireación}	43,60 %

E
[MPa]
174,15

ϵ
[m/m]
0,0044

S
[%]
56,40

e
Relación vacíos
0,78

φ
[°]
29,71

C
[KPa]
116,35

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

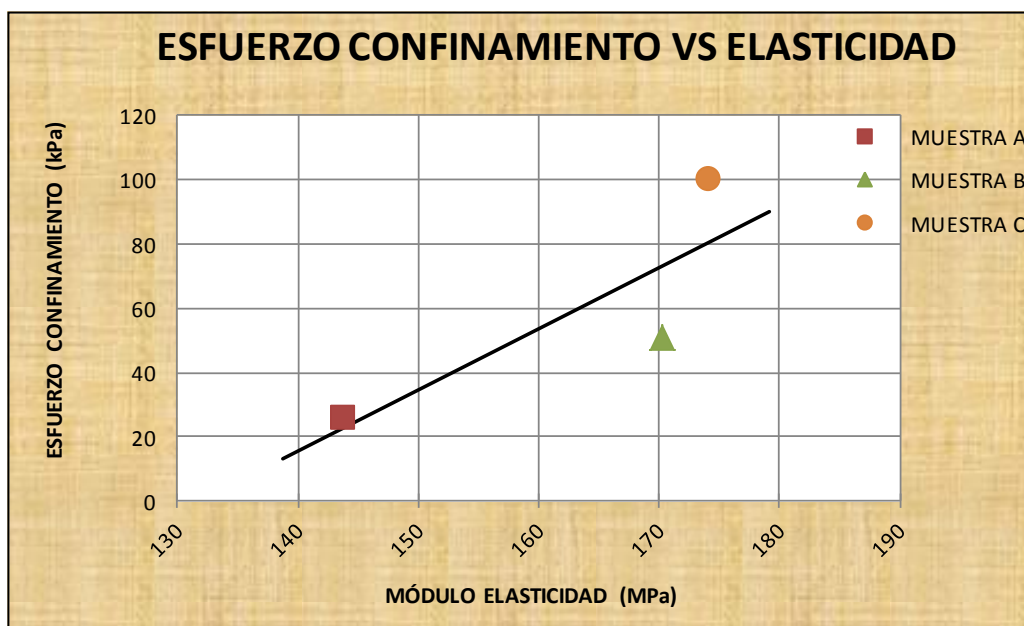
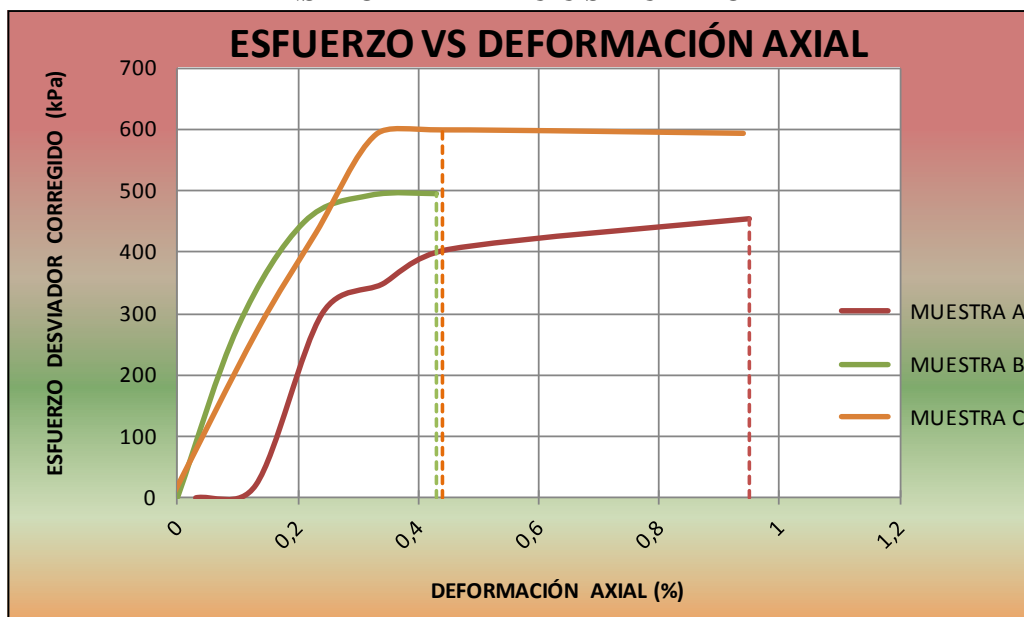
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 4

Denominación original Muestra#: N4

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,902 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$-250,68 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

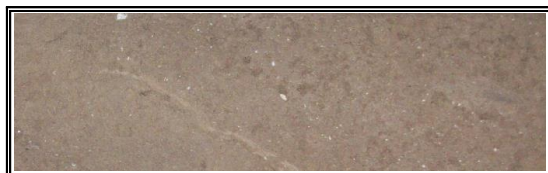
INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 4

Denominación original Muestra#: N4

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ CON GRUMOS
ENDURECIDOS COLOR CAFE CLARO AMARILLENTO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	454,40	25,50	479,90	252,70	227,20
B	495,10	50,70	545,80	298,25	247,55
C	599,00	100,10	699,10	399,60	299,50

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

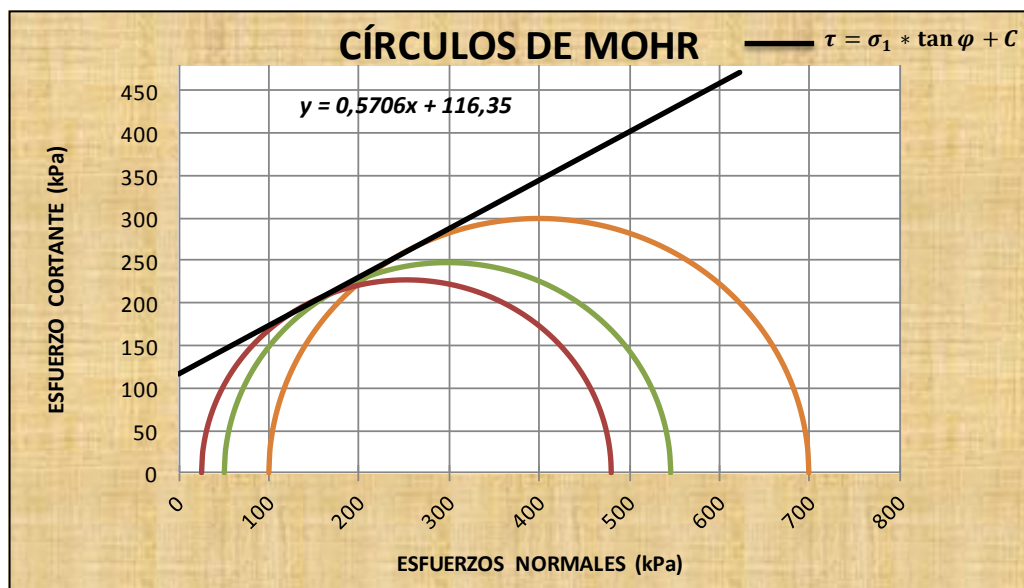
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 101,061

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4956

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9990

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 116,354

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 29.71°



Elaboración Propia

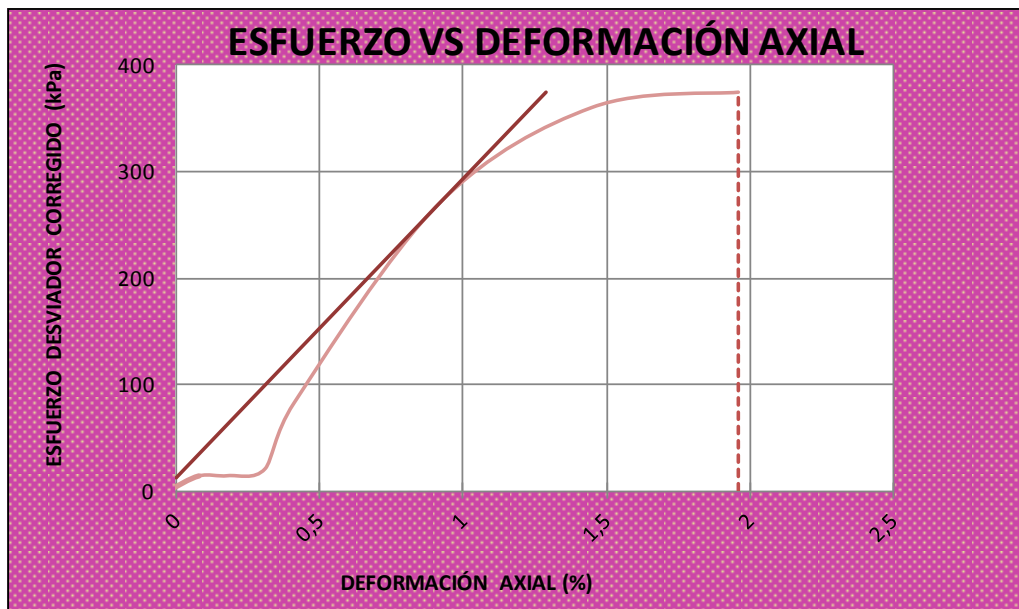
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 5 - A

Denominación original Muestra#: S1 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	374,50	50,40	424,90	237,65	187,25

H _{PROMEDIO}	142,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,43 mm
A _{PROMEDIO}	3677,76 mm ²
V _{PROMEDIO}	5229,77 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,05 KN/m ³
P _{MUESTRA}	860,86 g
n Porosidad	54,55 %
GS	2,65
H%	36,90 %
A _{Grado Aireación}	18,90 %

E
[MPa]
28,10

ϵ
[m/m]
0,0196

S
[%]
81,10

e
Relación vacíos
1,20

ϕ
[°]
20,31

C
[KPa]
112,11

Elaboración Propia

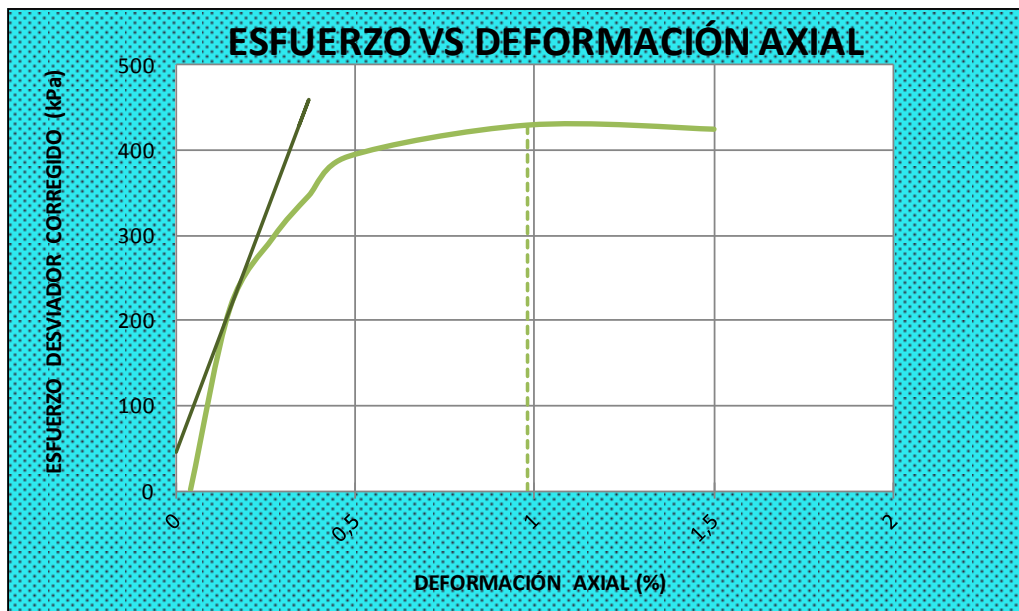
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 5 - B

Denominación original Muestra#: S1 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	429,70	99,70	529,40	314,55	214,85

H _{PROMEDIO}	142,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,43 mm
A _{PROMEDIO}	3677,76 mm ²
V _{PROMEDIO}	5229,77 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,05 KN/m ³
P _{MUESTRA}	860,86 g
n Porosidad	54,55 %
GS	2,65
H%	36,90 %
A _{Grado Aireación}	18,90 %

E
[MPa]
111,93

ϵ
[m/m]
0,0098

S
[%]
81,10

e
Relación vacíos
1,20

ϕ
[°]
20,31

C
[KPa]
112,11

Elaboración Propia

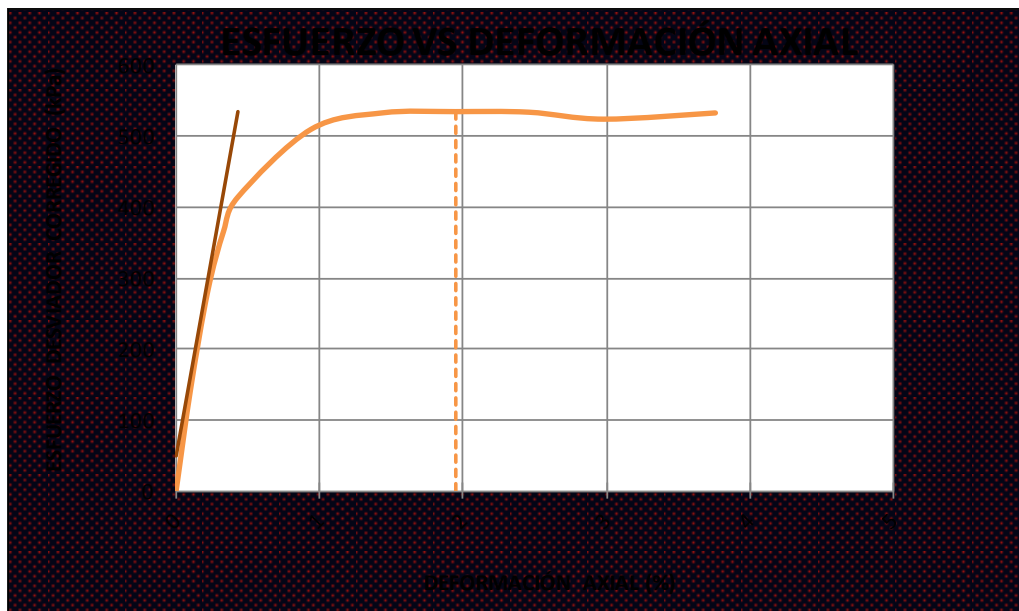
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 5 - C

Denominación original Muestra#: S1 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	534,50	200,40	734,90	467,65	267,25

H _{PROMEDIO}	142,20 mm
D _{PROMEDIO}	68,43 mm
A _{PROMEDIO}	3677,76 mm ²
V _{PROMEDIO}	5229,77 mm ³
γ _{HÚMEDA}	16,50 KN/m ³
γ _{SECA}	12,04 KN/m ³
P _{MUESTRA}	860,86 g
n Porosidad	54,55 %
GS	2,65
H%	37,00 %
A _{Grado Aireación}	18,90 %

E
[MPa]
112,70

ϵ
[m/m]
0,0195

S
[%]
81,10

e
Relación vacíos
1,20

φ
[°]
20,31

C
[KPa]
112,11

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

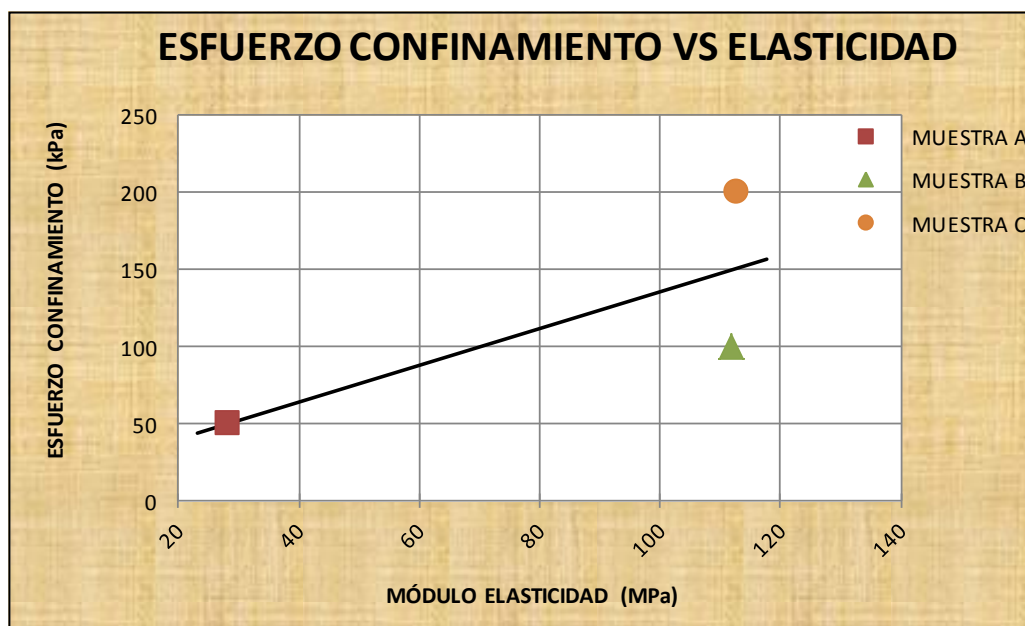
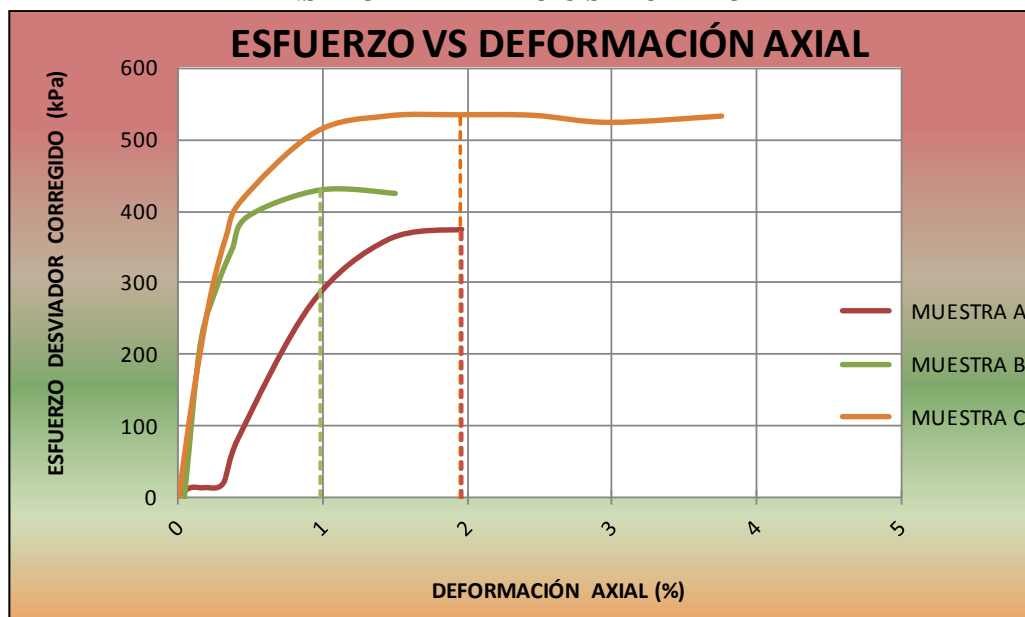
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 5

Denominación original Muestra#: S1

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,191 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$16,46 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 5

Denominación original Muestra#: S1

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENO ARCILLOSO HUMEDO CON POMEZ*
COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V.	CONFINAM.	ESF. MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	374,50	50,40	424,90	237,65	187,25
B	429,70	99,70	529,40	314,55	214,85
C	534,50	200,40	734,90	467,65	267,25

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

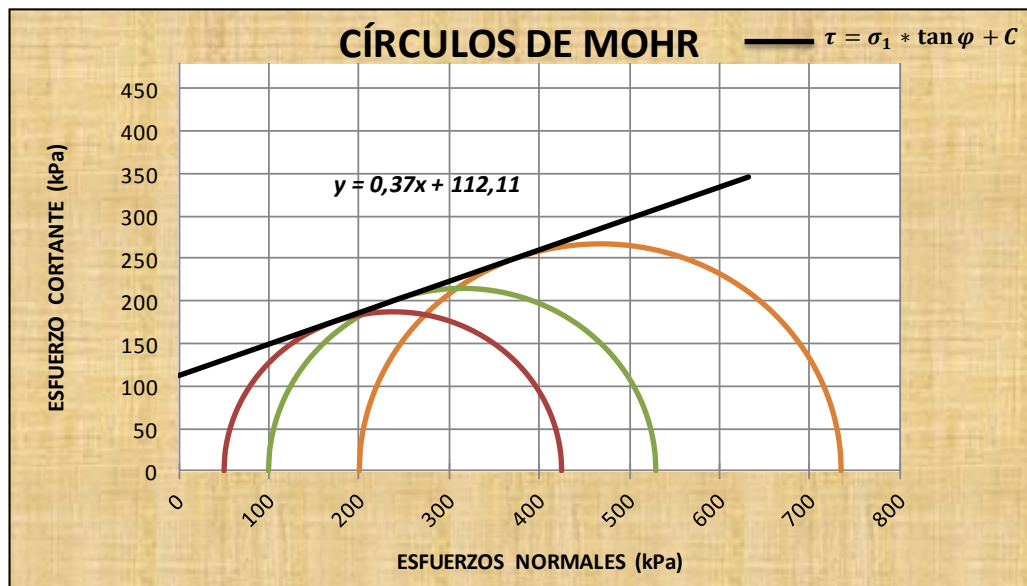
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 105,142

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3470

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9999

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 112,109

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 20.31°



Elaboración Propia

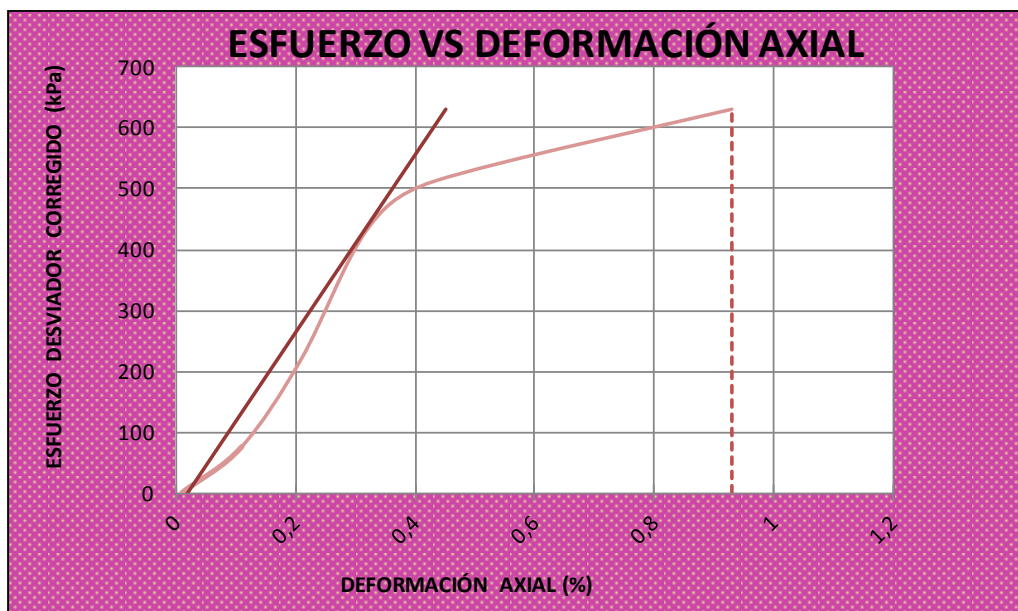
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 6 - A

Denominación original Muestra#: S2 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	630,80	50,40	681,20	365,80	315,40

H _{PROMEDIO}	142,20 mm
D _{PROMEDIO}	67,17 mm
A _{PROMEDIO}	3543,57 mm ²
V _{PROMEDIO}	5038,95 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,33 KN/m ³
P _{MUESTRA}	904,70 g
n Porosidad	49,75 %
GS	2,65
H%	35,00 %
A _{Grado Aireación}	6,60 %

E
[MPa]
146,06

ε
[m/m]
0,0093

S
[%]
93,40

e
Relación vacíos
0,99

φ
[°]
21,87

C
[KPa]
194,48

Elaboración Propia

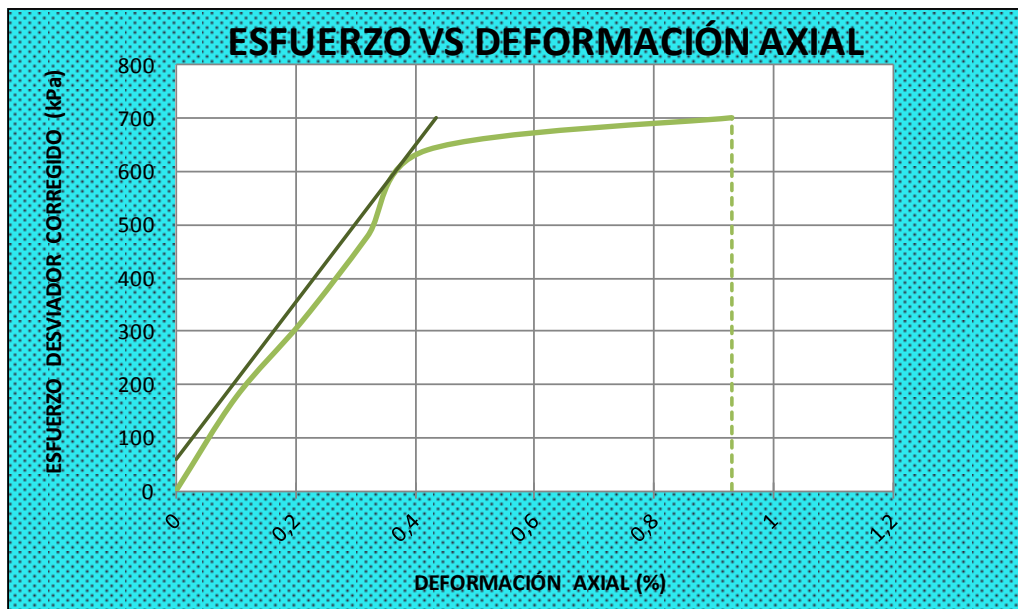
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 6 - B

Denominación original Muestra#: S2 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	701,30	100,70	802,00	451,35	350,65

H _{PROMEDIO}	142,20 mm
D _{PROMEDIO}	67,17 mm
A _{PROMEDIO}	3543,57 mm ²
V _{PROMEDIO}	5038,95 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,33 KN/m ³
P _{MUESTRA}	904,70 g
n Porosidad	49,75 %
GS	2,65
H%	35,00 %
A _{Grado Aireación}	6,60 %

E
[MPa]
147,54

ϵ
[m/m]
0,0093

S
[%]
93,40

e
Relación vacíos
0,99

φ
[°]
21,87

C
[KPa]
194,48

Elaboración Propia

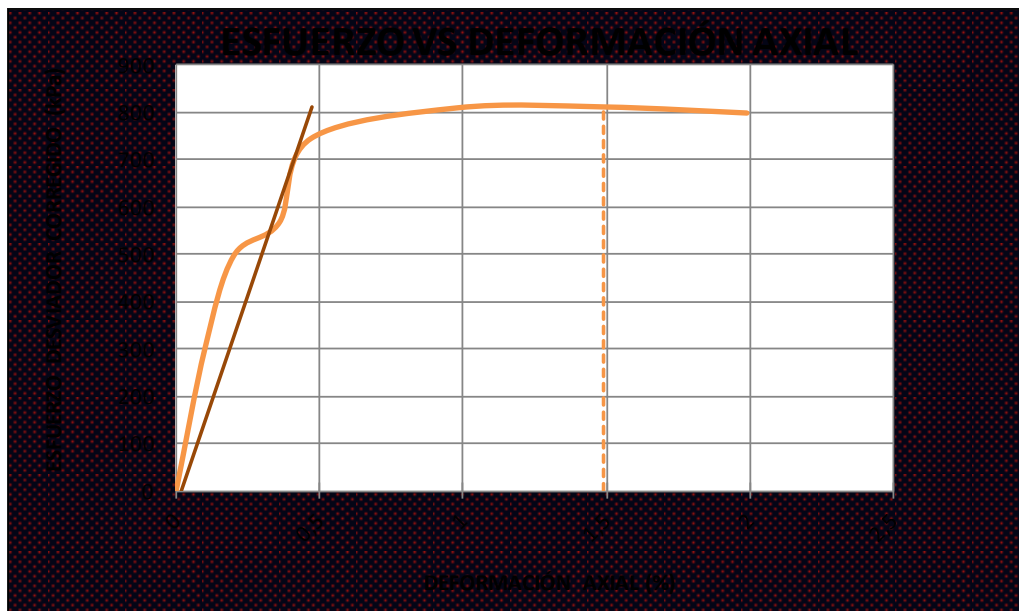
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 6 - C

Denominación original Muestra#: S2 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	811,70	201,20	1012,90	607,05	405,85

H _{PROMEDIO}	142,20 mm
D _{PROMEDIO}	67,17 mm
A _{PROMEDIO}	3543,57 mm ²
V _{PROMEDIO}	5038,95 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,00 KN/m ³
γ _{SECA}	13,33 KN/m ³
P _{MUESTRA}	904,70 g
n Porosidad	49,75 %
GS	2,65
H%	35,00 %
A _{Grado Aireación}	6,60 %

E
[MPa]
178,17

ε
[m/m]
0,0149

S
[%]
93,40

e
Relación vacíos
0,99

φ
[°]
21,87

C
[KPa]
194,48

Elaboración Propia

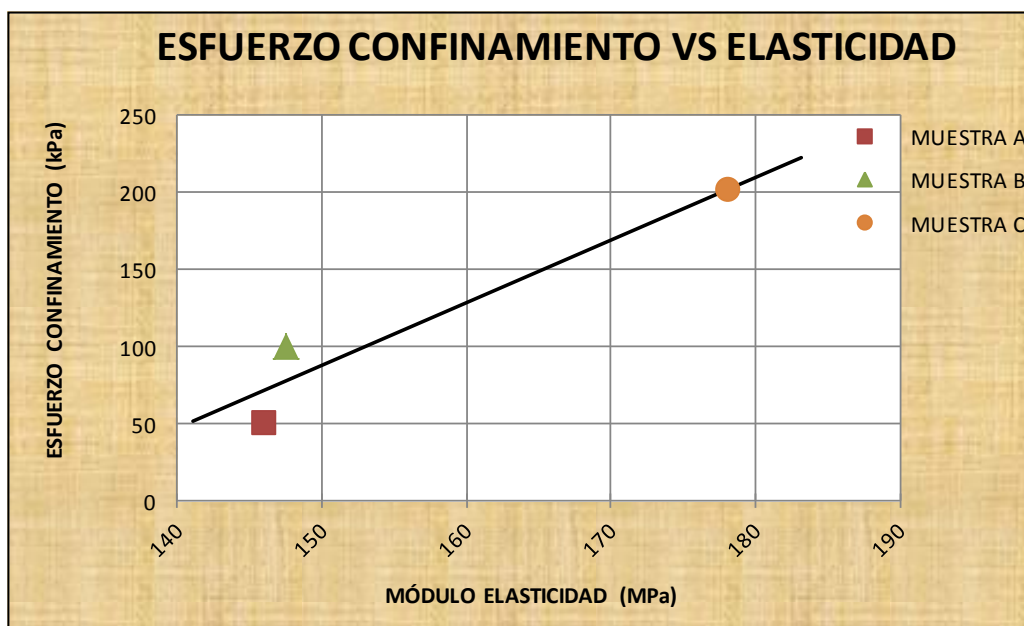
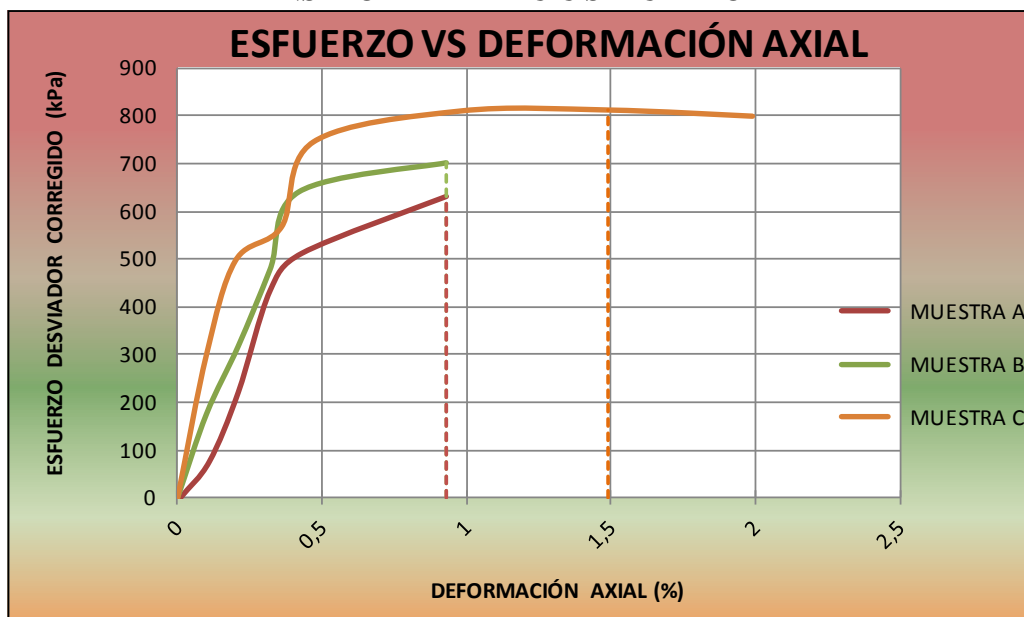
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 6

Denominación original Muestra#: S2

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$4,055 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-520,30 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 6

Denominación original Muestra#: S2

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENO ARCILLOSO HUMEDO CON POMEZ CON GRUMOS DEL MISMO MATERIAL COLOR CAFE



Clasif. SUCS
ML

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	630,80	50,40	681,20	365,80	315,40
B	701,30	100,70	802,00	451,35	350,65
C	811,70	201,20	1012,90	607,05	405,85

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

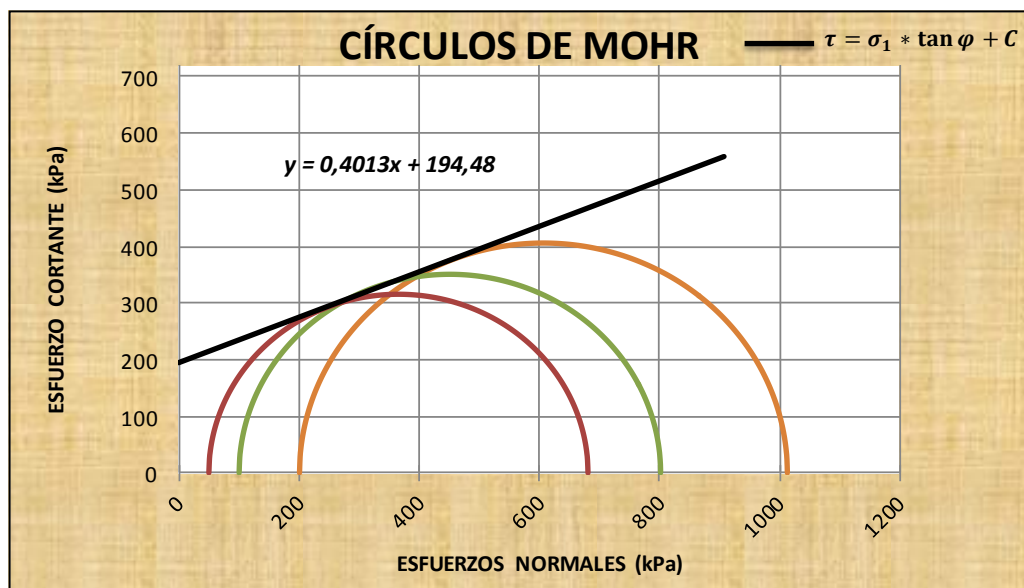
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 180,490

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3724

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9984

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 194,482

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 21.87°



Elaboración Propia

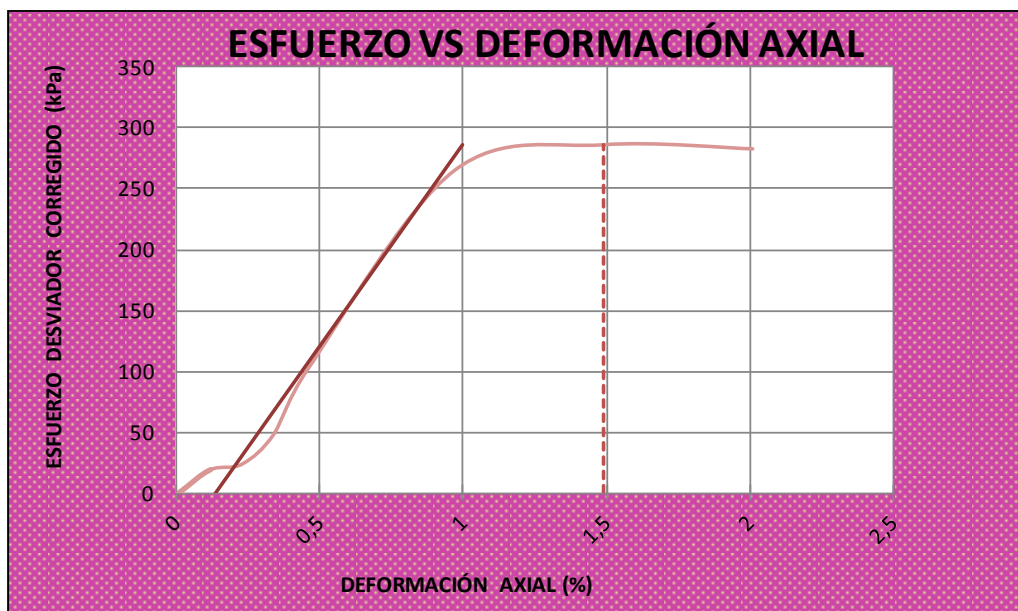
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 7 - A

Denominación original Muestra#: S3 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	286,10	49,80	335,90	192,85	143,05

H _{PROMEDIO}	144,20 mm
D _{PROMEDIO}	64,67 mm
A _{PROMEDIO}	3284,70 mm ²
V _{PROMEDIO}	4736,54 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,30 KN/m ³
γ _{SECA}	14,62 KN/m ³
P _{MUESTRA}	867,10 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,60
H%	25,20 %
A Grado Aireación	15,90 %

E
[MPa]
33,26

ϵ
[m/m]
0,0149

S
[%]
84,10

e
Relación vacíos
0,78

φ
[°]
23,31

C
[KPa]
74,06

Elaboración Propia

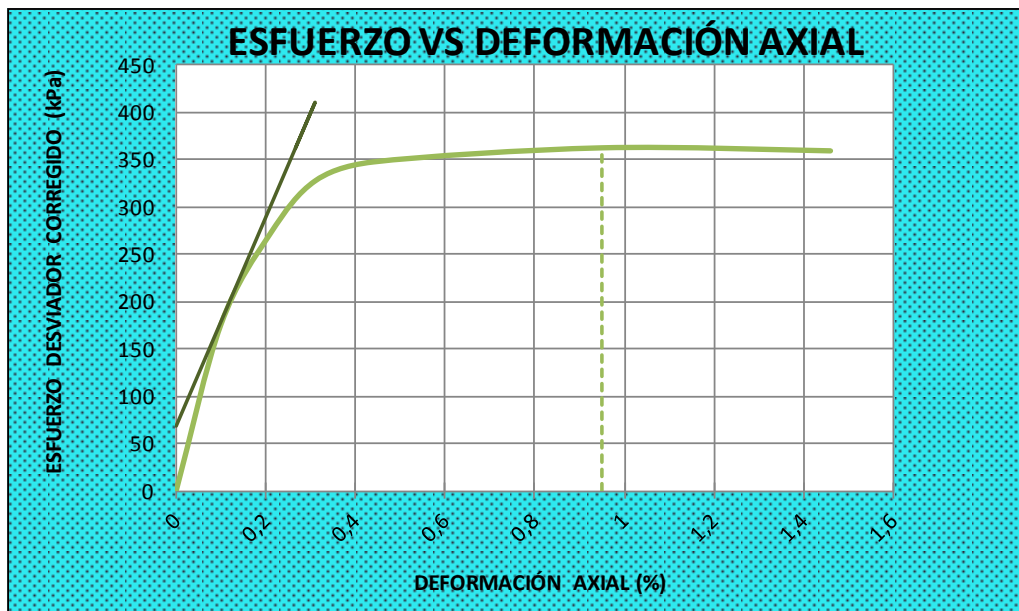
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 7 - B

Denominación original Muestra#: S3 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	362,50	99,90	462,40	281,15	181,25

H _{PROMEDIO}	144,20 mm
D _{PROMEDIO}	64,67 mm
A _{PROMEDIO}	3284,70 mm ²
V _{PROMEDIO}	4736,54 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,30 KN/m ³
γ _{SECA}	14,62 KN/m ³
P _{MUESTRA}	867,10 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,60
H%	25,20 %
A _{Grado Aireación}	15,90 %

E
[MPa]
110,39

ϵ
[m/m]
0,0095

S
[%]
84,10

e
Relación vacíos
0,78

ϕ
[°]
23,31

C
[KPa]
74,06

Elaboración Propia

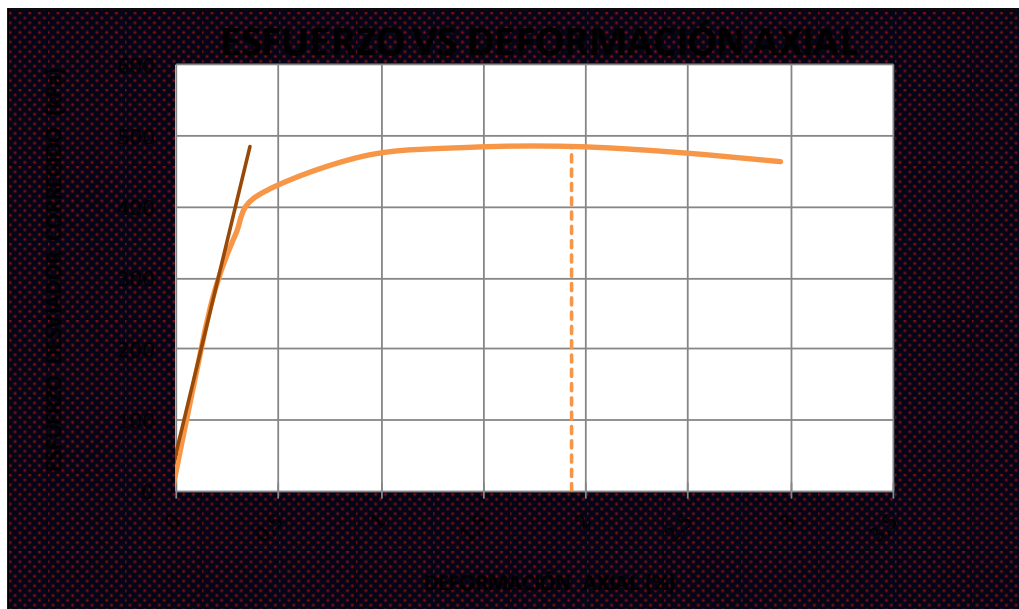
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 7 - C

Denominación original Muestra#: S3 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	485,40	200,50	685,90	443,20	242,70

H _{PROMEDIO}	144,20 mm
D _{PROMEDIO}	64,67 mm
A _{PROMEDIO}	3284,70 mm ²
V _{PROMEDIO}	4736,54 mm ³
γ _{HÚMEDA}	18,30 KN/m ³
γ _{SECA}	14,62 KN/m ³
P _{MUESTRA}	867,10 g
n Porosidad	43,82 %
GS	2,60
H%	25,20 %
A _{Grado Aireación}	15,90 %

E
[MPa]
119,75

ϵ
[m/m]
0,0193

S
[%]
84,10

e
Relación vacíos
0,78

φ
[°]
23,31

C
[KPa]
74,06

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

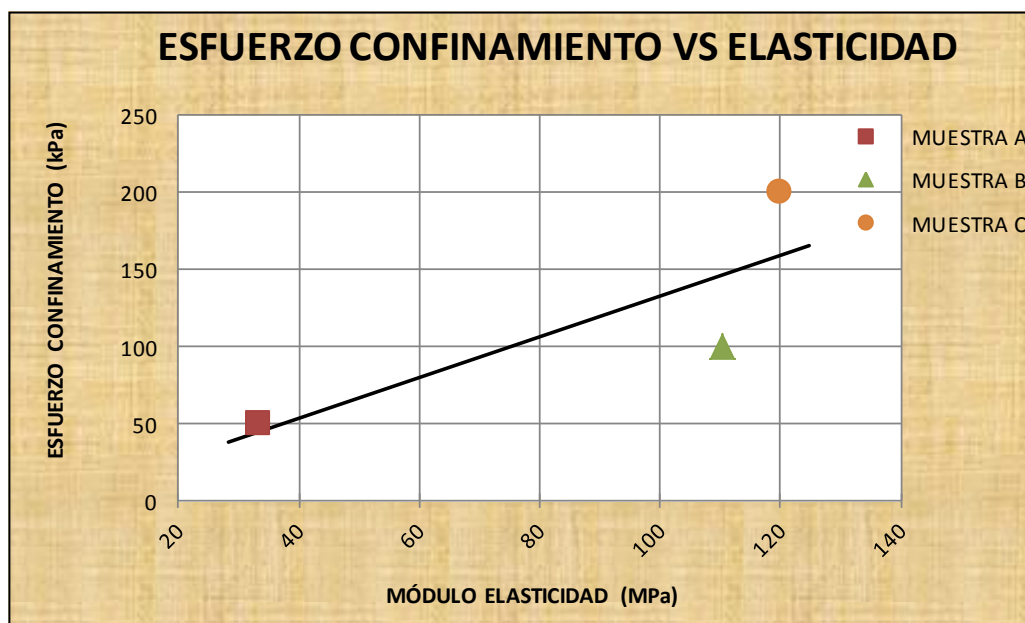
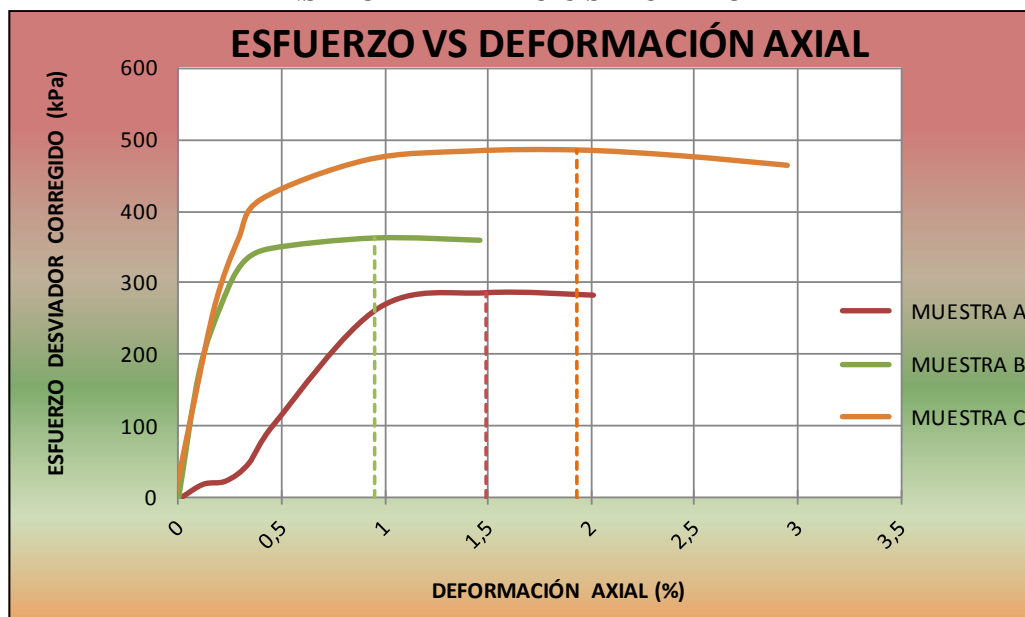
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 7

Denominación original Muestra#: S3

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{Elástica}$	$1,320 \cdot 10^{-3}$
$b_{Elástica}$	$0,85 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 7

Denominación original Muestra#: S3

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: *LIMO ARENO ARCILLOSO HUMEDO CON POMEZ*
COLOR CAFE CLARO



Clasif. SUCS
CL

KPa	ESF. DES V. $\sigma_1 - \sigma_3$	CONFINAM. σ_3	ESF. MAY. σ_1	p $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	r $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
MUESTRA					
A	286,10	49,80	335,90	192,85	143,05
B	362,50	99,90	462,40	281,15	181,25
C	485,40	200,50	685,90	443,20	242,70

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

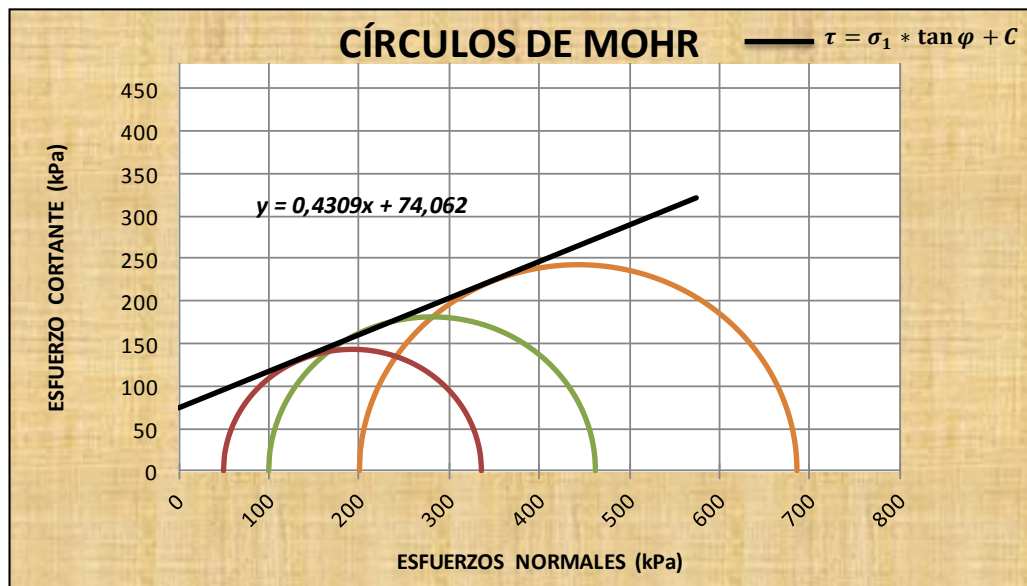
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 68,017

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,3957

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9988

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 74,062

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 23.31°



Elaboración Propia

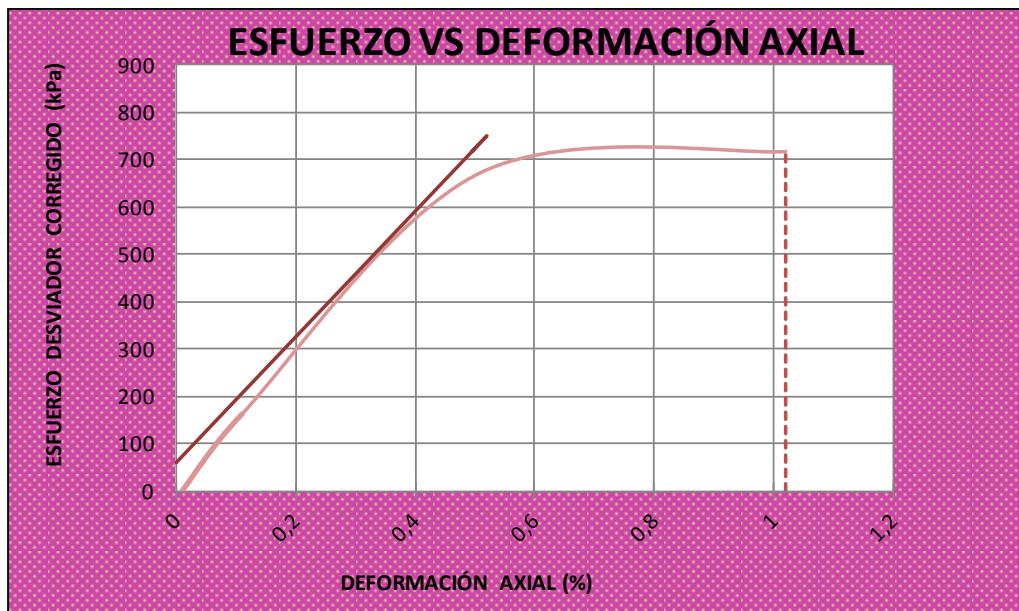
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 8 - A

Denominación original Muestra#: S4 A

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	717,20	49,50	766,70	408,10	358,60

H _{PROMEDIO}	142,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5248,75 mm ³
γ _{HÚMEDA}	15,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,00 KN/m ³
P _{MUESTRA}	834,73 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,62
H%	22,30 %
A _{Grado Aireación}	42,50 %

E
[MPa]
132,88

ε
[m/m]
0,0102

S
[%]
57,50

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
24,79

C
[KPa]
203,73

Elaboración Propia

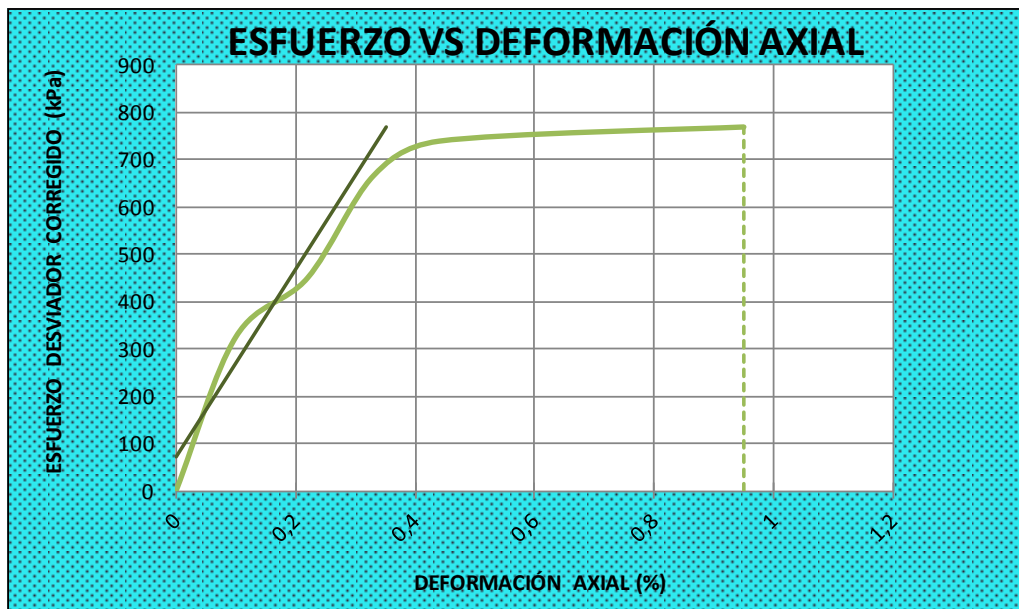
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 8 - B

Denominación original Muestra#: S4 B

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
B	769,30	100,10	869,40	484,75	384,65

H _{PROMEDIO}	142,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5248,75 mm ³
γ _{HÚMEDA}	15,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,00 KN/m ³
P _{MUESTRA}	834,73 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,62
H%	22,30 %
A _{Grado Aireación}	42,50 %

E
[MPa]
198,36

ϵ
[m/m]
0,0095

S
[%]
57,50

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
24,79

C
[KPa]
203,73

Elaboración Propia

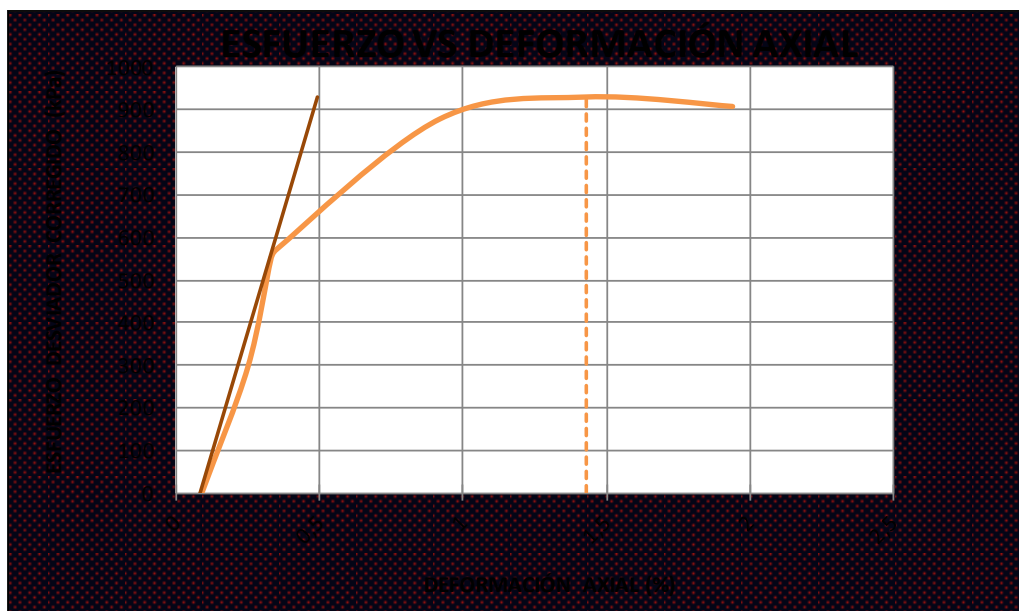
Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto) Muestra #: 8 - 8 - C

Denominación original Muestra#: S4 C

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
C	929,90	200,20	1130,10	665,15	464,95

H _{PROMEDIO}	142,30 mm
D _{PROMEDIO}	68,53 mm
A _{PROMEDIO}	3688,51 mm ²
V _{PROMEDIO}	5248,75 mm ³
γ _{HÚMEDA}	15,90 KN/m ³
γ _{SECA}	13,00 KN/m ³
P _{MUESTRA}	834,73 g
n Porosidad	50,50 %
GS	2,62
H%	22,30 %
A _{Grado Aireación}	42,50 %

E
[MPa]
227,38

ϵ
[m/m]
0,0143

S
[%]
57,50

e
Relación vacíos
1,02

φ
[°]
24,79

C
[KPa]
203,73

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

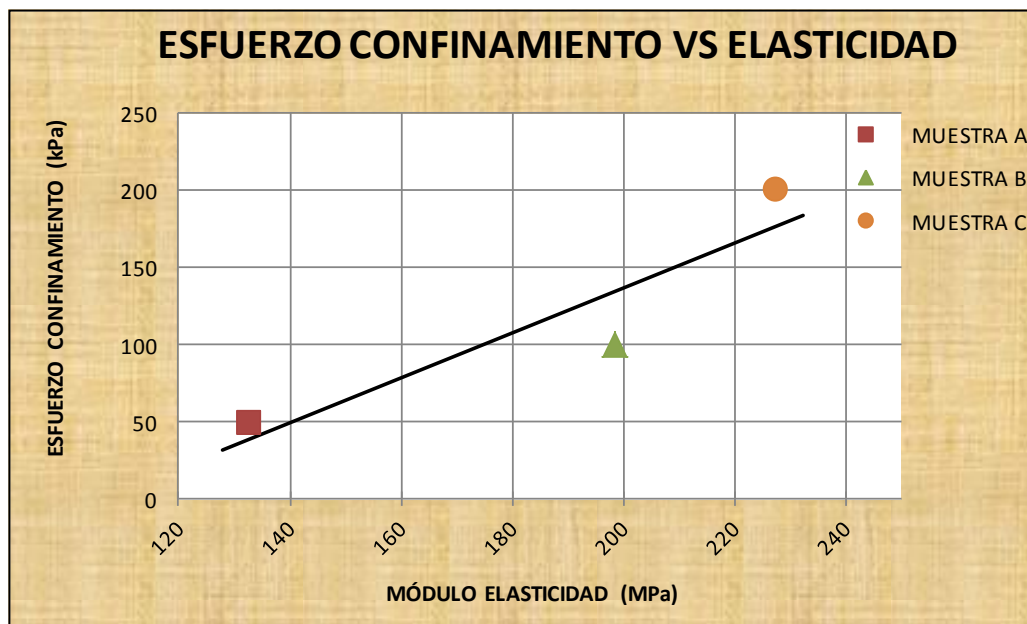
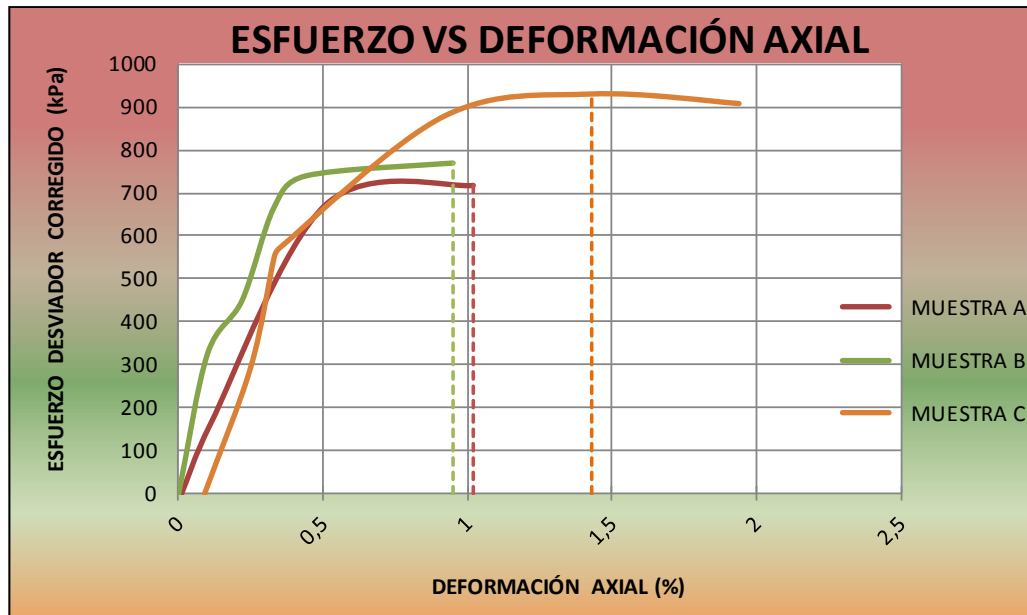
Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 8

Denominación original Muestra#: S4

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO



$m_{\text{Elástica}}$	$1,455 \cdot 10^{-3}$
$b_{\text{Elástica}}$	$-154,36 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$

Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS

INFORME DE ENSAYO (Extracto)

Muestra #: 8 - 8

Denominación original Muestra#: S4

ENSAYO TRIAXIAL U-U SATURADO

Descripción del suelo: LIMO ARENOSO CON POMEZ CON GRUMOS
ENDURECIDOS COLOR CAFE AMARILLENTO



Clasif. SUCS
CL

KPa	ESF. DESV.	CONFINAM.	ESF.MAY.	p	r
MUESTRA	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_3	σ_1	$(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
A	717,20	49,50	766,70	408,10	358,60
B	769,30	100,10	869,40	484,75	384,65
C	929,90	200,20	1130,10	665,15	464,95

CORRELACION ESFUERZOS TOTALES:

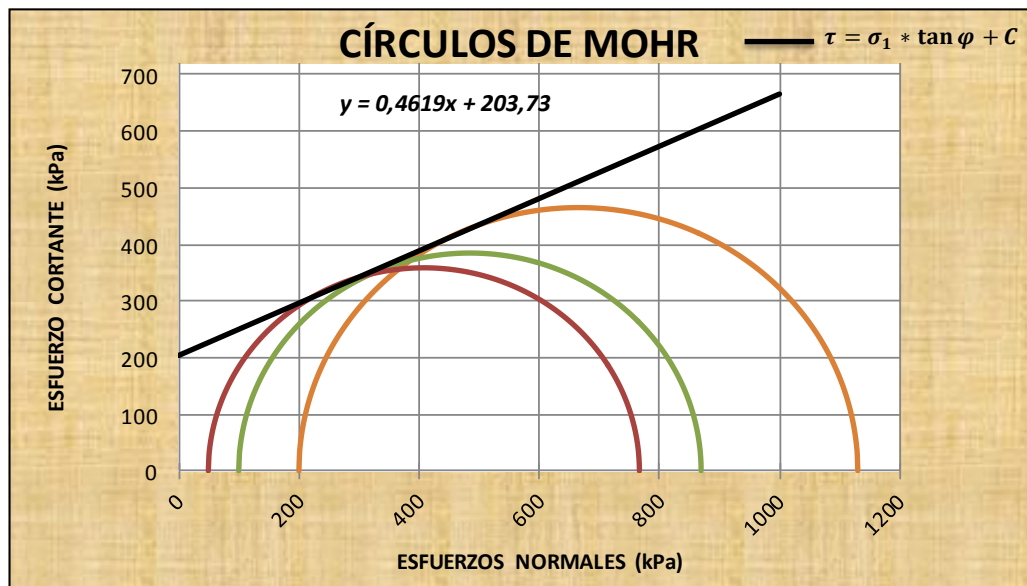
Intercepto Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 184,948

Pendiente Línea K ($y' = \alpha x' + \beta$) 0,4194

Coefficiente de correlación al cuadrado (R^2) 0,9967

COHESIÓN TOTAL (C) [KPa] : 203,727

ÁNG. DE FRICCIÓN TOTAL (φ) 24.79°



Elaboración Propia

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Politécnica Salesiana (2011).
Ensayos Triaxiales de Laboratorio. Quito: LEM-UPS

Laboratorio de ensayo: LEM-UPS